



Università degli Studi di Ferrara

DOTTORATO DI RICERCA IN SCIENZE DELLA TERRA

CICLO XXVI

COORDINATORE Prof. Coltorti Massimo

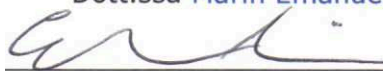
*Caratterizzazione di sedimenti recenti e valutazione delle
ricadute ambientali nella laguna di Nador, Marocco.*

Settore Scientifico Disciplinare *GEO/09*

GEORISORSE MINERARIE E APPLICAZIONI MINERALOGICO-PETROGRAFICHE PER L'AMBIENTE
E I BENI CULTURALI


Dottorando

Dott.ssa *Marin Emanuela*


(firma)

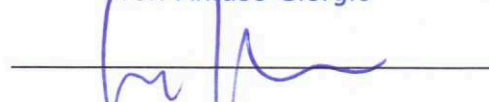
Tutore

Prof.ssa *Vaccaro Carmela*


(firma)

Co Tutore

Prof. *Anfuso Giorgio*


(firma)

Indice

| | | |
|-------|---|---------|
| 1. | Introduzione e scopo del lavoro | pag. 3 |
| 2. | Gli ambienti costieri | pag.10 |
| 2.1 | Le lagune costiere | pag.11 |
| 2.2 | La fragilità degli ambienti lagunari | pag. 20 |
| 2.3 | Le lagune antropizzate | pag. 25 |
| 3. | Inquadramento dell'area | pag. 30 |
| 3.1 | Storia geologica della laguna | pag. 39 |
| 3.1.1 | Genesi della laguna | pag. 39 |
| 3.1.2 | Genesi delle aperture della barriera litorale | pag. 40 |
| 3.2 | Uso del suolo e realtà economiche | pag. 43 |
| 3.3 | Il clima:temperature, precipitazioni e venti | pag.50 |
| 3.4 | La qualità delle acque | pag. 54 |
| 3.5 | Le correnti delle acque della laguna interne ed esterne | pag. 57 |
| 4. | Obiettivo della ricerca: Materiali e Metodi | pag. 59 |
| 4.1 | Fluorescenza ai Raggi X – XRF | pag. 60 |
| 4.2 | Diffrazione ai Raggi X – XRD | pag. 62 |
| 4.3 | Densità Reale – Picnometro ad Elio | pag. 63 |
| 4.4 | μ - XRF Portatile | pag. 64 |
| 5. | Le indagini analitiche | pag. 66 |
| 5.1 | La granulometria e la densità reale | pag. 66 |
| 5.2 | La mineralogia | pag. 72 |
| 5.3 | Le indagini geochimiche | pag. 91 |
| 5.3.1 | Gli elementi maggiori | pag. 97 |
| 5.3.2 | Gli elementi in traccia | pag.103 |
| 5.3.3 | Confronti con altre località | pag.127 |

| | | |
|-------|--|---------|
| 5.3.4 | Fattore di Arricchimento | pag.144 |
| 6. | La malacofauna attuale della laguna di Nador | pag.151 |
| 6.1 | I frammenti conchigliari della laguna di Nador | pag.160 |
| 7. | Conclusioni | pag.171 |
| 8. | Bibliografia | pag.176 |

APPENDICE:

| | | |
|------|--|---------|
| I. | L'inquinamento | pag.189 |
| II. | I sedimenti e la loro qualità | pag.194 |
| III. | La legislatura in materia ambientale | pag.205 |
| IV. | Le conchiglie e il Phylum dei Mollusca | pag.214 |

1.Introduzione

Si stima che la produttività biologica delle zone umide, calcolata come peso medio della biomassa vegetale, sia di 25 grammi per m^2 , mentre la produttività, cioè la produzione in rapporto al tempo, arrivi alle 20'000 chilocalorie all'anno per m^2 : questi valori pongono le zone umide nel podio delle aree più produttive ecologicamente, insieme alle barriere coralline e alla foresta tropicale, al pari di molte zone agricole-intensive (Lagune d'Italia, a cura del TCI, 1999). I fattori che influiscono su questo primato sono diversi, ma il primo tra tutti è la grande abbondanza di specie vegetali che riescono a colonizzare ampie aree della laguna, in quanto il basso livello delle acque permette ai raggi solari di arrivare fino alle piante e a dar luogo alla fotosintesi (zona eufotica). Le masse d'acqua lagunare hanno anche un effetto di mitigazione del clima, limitando gli estremi termici e le correnti interne, generalmente di lieve entità, riescono a ridistribuire le sostanze nutritive contenute nelle acque in maniera capillare a tutta la laguna, rendendola un ambiente favorevole alla vita di numerose specie animali e vegetali (Abigail et al. 2009; Lloret et al., 2008).

La laguna è quindi un ecosistema ricco, che dà ai propri abitanti numerose tipologie di sostentamento. Le zone umide sono da sempre un luogo importante per le comunità umane, tanto che le prime civiltà hanno spesso scelto di occupare queste aree ed edificarvi le proprie abitazioni, in origine adottando come edificio abitativo la palafitta: un sistema utile per rimanere al riparo dalle acque ma al contempo lontani dai pericoli della terraferma, fossero essi altri esseri umani o animali feroci. I primi insediamenti palafitticoli erano costituiti da palizzate affossate lungo le rive di laghi e lagune, sopra il quale alcune venivano agganciate mediante corde o chiodi le assi di legno che formavano il pavimento. I più antichi villaggi palafitticoli sorsero nell'età neolitica (dal 6000 al 4000 circa a. C.) e continuarono fino a tutte le età del bronzo e del ferro (dal 2500 al 1000 a.C.) (Bailey 2005).

Nonostante fin dagli albori, grazie all'abbondanza di risorse alimentari, varie comunità umane si fossero stanziate nelle aree umide di tutto il mondo, la vita non fu comunque favorevole per l'uomo a causa dell'elevata umidità e della grande massa di insetti che vi regnavano. Alcuni di questi insetti sono ancor oggi veicolo di malattie spesso mortali, come la malaria causata da parassiti incubati nello stomaco di zanzare del genere *Anopheles* (Akogbeto, 1995).

Con la scoperta dell'agricoltura, ai problemi sopra elencati, si aggiunse la necessità di coltivare aree sempre più ampie di terra: a tale scopo si affinarono le tecniche di bonifica e regimentazione delle aree umide, come lagune, delta e corsi d'acqua. Le prime grandi bonifiche in Italia sono avvenute per mano dei Romani a partire dal II sec aC, in modo da aumentare gli spazi per la coltivazione del grano lungo la Pianura Padana (Hatvany, 2009). Ma è con la scoperta dei motori della seconda Rivoluzione industriale, quella del XIX sec, che le bonifiche sono diventate sistematiche poiché il lavoro dell'uomo veniva integrato dall'instancabile azione delle pompe idrauliche a motore. Un certosino lavoro che ha divorato di metro in metro gli spazi un tempo ricoperti da acque dolci e salmastre (Camorani et al. 2005; Di Giuseppe et al., 2012). Alcuni esempi importanti nel territorio italiano sono le grandi bonifiche fasciste, intraprese a seguito alla Legge Serpieri del 1923, con l'istituzione di vari consorzi di bonifica in tutt'Italia, primo fra tutti per estensione il Consorzio di Bonificazione dell'Agro Pontino; tutte queste bonifiche hanno trasformato in maniera radicale e irreversibile il territorio (Caprotti, 2008).

Nel 1976 a Ramsar in Iran, si svolge la prima conferenza sulla salvaguardia delle zone umide del mondo, con la stesura della *“Convenzione per la salvaguardia delle zone umide ad interesse internazionale e soprattutto come habitat degli uccelli acquatici”* (www.ramsar.org). Il primo campanello d'allarme che ha portato gli studiosi e i politici del mondo ad una presa di coscienza sulle criticità legate alla perdita degli ambienti umidi è stata la constatazione di un progressivo decremento nella popolazione dell'avifauna mondiale, disagio provocato plausibilmente dalle intensive bonifiche del XX sec, associate al depauperamento della qualità dei pochi habitat rimasti (Dunnet et al., 1990). Le popolazioni di uccelli acquatici migratori utilizzano da sempre un percorso di lagune, stagni, laghi e zone umide di vario genere e grandezza per sostare e cibarsi nelle rotte migratorie, ma mancanza e l'impoverimento delle stesse, ha portato come conseguenza un'inesorabile e massiccio ridimensionamento nel numero degli uccelli e nel loro stato di salute (Burton et al., 2006 ; Evans et al., 1979; Yang et al., 2011).

Durante la Conferenza di Ramsar si è anche delineata la definizione di zone umide come *“le aree palustri, acquitrinose o torbose o comunque specchi d'acqua, naturali o artificiali, permanenti o temporanei, con acqua ferma o corrente, salata, salmastra o dolce, compresi i tratti di mare la cui profondità non ecceda i sei metri con la bassa marea”*.

L'incontro di Ramsar è stato il primo di molti altri in varie parti del mondo, che in una visione ecologicamente più ampia e specifica hanno preso in considerazione l'importanza e la fragilità delle aree umide. Attualmente l'Unione Europea è

impegnata in vari programmi di sviluppo, salvaguardia e valorizzazione ambientale, che recepiscono i maggiori Protocolli a carattere internazionale. In particolare ricordiamo la direttiva europea 79/409/CEE concernente la conservazione degli uccelli selvatici e dei loro habitat, e la direttiva 2008/56/CE del 17 giugno 2008, la quale delinea tutti gli aspetti che riguardano l'azione comunitaria nel campo della politica per l'ambiente marino (nel quale è inserito anche l'ambiente lagunare).

Da tutti i progetti e gli studi compiuti emerge come le aree umide siano ambienti ricchi ma al contempo fragili. Essi sono costituiti da un complesso sistema chimico-fisico (tipo di suolo, qualità e quantità delle acque e fattori climatici) e biologico (flora e fauna, quest'ultima sia che viva stabilmente o temporaneamente), unico per ogni ambiente lagunare, ma il cambiamento di un solo fattore, anche in maniera impercettibile, può compromettere l'equilibrio dell'habitat (Arima et al. 2013).

All'interno di questo dibattito si pone l'oggetto di studio della Tesi; lo scopo della stessa è di utilizzare le conoscenze della petrografia e geochimica al fine di valutare l'origine e lo stato qualitativo del comparto sedimentario.

Il caso di studio sarà la laguna di Nador situata nel litorale mediterraneo del Marocco, conosciuta in lingua locale come *Sebkha Bou Areg*, il cui specchio d'acqua è così grande e importante da essere denominato anche *Mar Chica* (piccolo mare in spagnolo). L'intento è di realizzare un quadro generale dello stato di salute della laguna, studiando campioni provenienti da depositi terrigeni raccolti sia all'interno del bacino che lungo le sponde. Il campionamento preso in esame è avvenuto in due periodi: il primo nel 2010, in maniera sistematica lungo tutta la laguna, mentre il secondo è stato eseguito nell'area settentrionale agli inizi del 2013, al fine di aumentare i dati in possesso per la zona più difficile da determinare in termini di qualità del sedimento. Nel tempo intercorso tra i due campionamenti è avvenuto un importante cambiamento morfologico: a fine 2012 si è aperto un nuovo canale di collegamento tra la laguna e il mare (Raj et al., 2013). Secondo quanto afferma Abhouala (1991) questo imponente progetto è mosso da due obiettivi principali: il primo è una riqualificazione dell'area, con un miglioramento del traffico marino e la costruzione in parallelo di nuove aree turistiche; il secondo è di aumentare l'apporto di acqua marina nella laguna, per migliorare l'ossigenazione delle acque e mitigare il problema dell'eutrofizzazione.

Tuttavia tale progetto potrebbe invece accrescere o creare nuove difficoltà: le lagune costiere, come quella di Nador, sono ambienti dinamici, che anche in breve tempo possono cambiare configurazione (correnti, salinità, temperature, fauna e flora presenti...) e risultano al contempo particolarmente vulnerabili rispetto ai cambiamenti morfologici e climatici (Flower et al., 2009). Il cordone litorale che

separa lo specchio lagunare dal mare aperto ad esempio può venire distrutto a seguito di una forte tempesta o eroso a causa di un innalzamento del mare anche di poche decime di cm (Raj et al., 2013). Ciò mette in luce come un ambiente confinato come la laguna di Nador sia però particolarmente suscettibile a qualsiasi cambiamento, sia esso legato alle opere dell'uomo o ai grandi cambiamenti climatici globali.

L'ambiente lagunare è caratterizzato da acque salmastre, una miscela di acque marine e acque dolci provenienti dall'entroterra. I contributi idrici più influenti nella laguna di Nador (Bloundi et al., 2009) sono:

- Le acque del Mediterraneo che penetrano dalle aperture lungo la barriera costiera;
- Le acque continentali che arrivano dai vari Oued (fiumi) lungo la costa;
- Gli scarichi diretti delle attività umane (reflui industriali e urbani);
- Le acque della stazione di depurazione.

La qualità e la quantità di questi apporti idrici è particolarmente variabile e nel loro complesso concorrono a delineare lo stato ambientale lagunare. In aggiunta ricordiamo anche che lo sfruttamento delle foci, la desertificazione, lo spostamento e la canalizzazione dei fiumi/torrenti, causa gravi danni poiché l'apporto di acque dolci diminuisce e la salinità della laguna cambia, decretando la scomparsa di specie marine e vegetali (Flower et al., 2009).

Il peggioramento della qualità delle acque è un fenomeno che interessa molte aree umide del pianeta, compresa la laguna di Nador (Achab et al., 2007; Arienzo et al., 2013; Atalar et al., 2013; Bellucci et al., 2002; Bloundi et al., 2009; Christophorodis 2007; Duplay et al. 2012; Glasby et al. 2004; Huang et al., 2013; Maanan et al., 2013; Pereira et al., 2010; Zourarah et al., 2012). Ciò è dovuto al progressivo aumento della pressione antropica che non è stato accompagnato da adeguate politiche di salvaguardia del territorio. L'incremento di richiesta commerciale e alimentare hanno causato innumerevoli danni: la pesca si è fatta così intensa da sterminare numerose colonie; le acque esauste gettate in mare, sia dalle aree urbane che dai vari natanti, sono aumentate in quantità e peggiorate in qualità (spesso contenendo sostanze altamente tossiche): in passato la natura era stata in grado di rigenerarsi e fare da effetto tampone alle cattive abitudini umane ma oggi il legame uomo-ambiente sembra essersi spezzato.

Il futuro delle lagune appare incerto, ma le politiche di controllo e valorizzazione del patrimonio lagunare sono volte ad evitare la perdita di ambienti unici, che spesso

sono inseriti in piani di protezione ambientale a carattere mondiale, come nel caso della Laguna di Nador che è inserita negli elenchi della convenzione di Ramsar e del WWF.

Il primo passo per la salvaguardia di un ambiente è la conoscenza delle sue dinamiche. Questo studio è volto a comprendere quali siano le condizioni del sedimento superficiale, cioè quello più recente, sul quale agiscono le condizioni attuali. Dal punto di vista qualitativo si vuole comprendere la distribuzione e la tipologia granulometrica dei sedimenti, quali sono le aree di origine e quale il grado di inquinamento. La qualità dei depositi sedimentari sarà indagata attraverso diversi approcci: si valuterà il grado di contaminazione antropica o naturale al fine di determinare le fonti impattanti.

I campioni analizzati sono stati studiati con l'ausilio di diverse tecniche analitiche, in particolare tramite uno studio geochimico (XRF) e mineralogico (XRD). I dati ottenuti sono stati trattati attraverso confronti e grafici di varia natura, nonché visualizzati e osservati grazie a mappe tematiche ottenute con la tecnologia GIS.

Lo studio si pone non come un punto di arrivo ma in una prospettiva a lungo termine: i risultati ottenuti saranno un fermo immagine sulle condizioni della laguna prima della costruzione del nuovo e imponente canale, che probabilmente sta già cambiando la dinamica ed i processi di deposizione dei sedimenti, oltre ad altri parametri legati alle correnti e alla qualità delle acque. In futuro si spera di poter proseguire le indagini, per vedere come un evento di tale impatto influisca in un ambiente così fragile.

I dati originali trattati in questa tesi verranno messi in relazione con i risultati ottenuti in precedenti pubblicazioni, in particolare per quanto riguarda la definizione dei parametri fisici e climatici e le descrizioni mineralogiche e geochimiche dell'area (Abouhala et al., 1995; Benkhaldoun et al., 2012; Bloundi et al., 2009; El Alami et al., 1998; Guelorget et al., 1987; Majhoubi et al., 2003; Ruiz et al., 2006).

Il **successivo capitolo** di questa tesi è volto a definire cosa sono gli ambienti costieri, con un approfondimento sulla morfologia lagunare, attraverso varie definizioni e confronti con lagune attualmente caratterizzate da problemi di forte pressione antropica che si trovano in varie località del globo.

Nel **terzo capitolo** si delineano i tratti importanti della morfologia della laguna di Nador, con la descrizione dei vari comparti che la caratterizzano; verrà approfondita la storia geologica dell'area, con una puntualizzazione sulla dinamica e storia della barriera costiera. Si descrivono inoltre le caratteristiche chimico-fisiche della laguna (temperatura delle acque, salinità, pH, ...) e le caratteristiche micro climatiche e di

uso del suolo. I dati qui esposti vengono raccolti e confrontati con quelli che sono gli studi fatti in passato da altri autori.

Il **quarto capitolo** introduce a ciò che è il lavoro analitico della tesi, con la descrizione dei metodi di campionamento e gli obiettivi che si vogliono raggiungere con lo studio dei dati raccolti. Vi è la descrizione di tutte le metodologie analitiche (XRD, XRF, Picnometro) utilizzate.

Nel **quinto capitolo** si espongono i risultati analitici: i dati granulometrici, mineralogici e geochimici, in accordo con Guelorget et al.. (1987), confermano la zonizzazione che caratterizza la laguna di Nador. Inoltre, grazie allo spettro degli elementi indagati con Spettrometria XRF, si tratterà la problematica dei metalli pesanti, della loro probabile origine e del potenziale danno che possono causare alla salute ambientale e antropica.

Infine il **sesto capitolo** tratta del comparto bentonico, grazie ai frammenti di Bivalvi e Gasteropodi raccolti nella seconda campionatura. Nonostante l'impossibilità di studiare con protocolli scientificamente corretti il bioaccumulo nella popolazione bentonica, si è scelto di utilizzare un metodo economico e speditivo come l'XRF portatile, per vedere se vi è traccia di accumulo di metalli pesanti nella parte più esterna dei gusci rintracciati nei campioni.

Con il **capitolo settimo** si conclude la tesi, con una considerazione finale alla luce di tutto ciò che è stato delineato in precedenza.

La trattazione si compone di una corposa appendice, volta ad approfondire in maniera tematica alcune delle problematiche precedentemente descritte.

L'**appendice I** ha lo scopo di esaminare uno dei concetti maggiormente presi in esame, ovvero l'inquinamento. Sarà trattata la problematica da un punto di vista storico, sociale e di definizione delle componenti essenziali

In **appendice II** si introdurranno i concetti legati allo studio della qualità dei sedimenti, il comparto di maggiore interesse ai fini della tesi, cercando di fare un confronto il più esaustivo ed oggettivo possibile tra i due approcci maggiormente utilizzati a livello legislativo: l'approccio tabellare dell'Europa e quello tiered (= in fasi, passaggi successivi) degli Stati Uniti. Questo approfondimento è molto importante, poiché il processo di determinazione dei dati sarà sviluppato prendendo in esame gli approcci qui descritti.

L'**appendice III** prosegue mettendo in luce il quadro legislativo europeo, tenendo presente che le istituzioni del Marocco fanno generalmente riferimento ai corpus giuridici dell'UE, per quanto concerne in materie di salvaguardia e tutela ambientale.

L'**ultima appendice** introduce un discorso generale sui Bivalvi e Gasteropodi, al fine di delineare le caratteristiche essenziali delle due Classi di Molluschi, con maggior riferimento alle diverse tipologie di specie e caratteristiche dei gusci.

2. Gli ambienti costieri

Nel tempo molti sono stati gli studiosi che hanno cercato di definire cosa fossero gli ambienti marini costieri, cercando di dividerli secondo classificazioni geomorfologiche, idrologiche e/o ecologiche.

Kjerfve (1994) è uno dei primi studi che cerca di classificare i vari ambienti marini costieri, delineando 6 categorie principali:

1. Estuari: rappresentano la parte finale di un corso d'acqua continentale nel punto in cui viene a contatto con il mare: durante il periodo di innalzamento dei mari nell'Olocene gli estuari che oggi conosciamo vennero sommersi. La salinità dell'acqua equivale alla somma della salinità marina diluita dall'apporto di acqua dolce del fiume; essa non è stabile ma influenzata dalle maree. In genere questi ambienti non sono profondi più di 20 m. Questo tipo di sistema lo si può osservare in gran parte dell'America Latina. Esempi di estuario sono la Chesapeake Bay e il sistema Charleston Harbor-Cooper River negli USA, la foce del fiume Brenta in Italia.

2. Lagune costiere: un ambiente umido interno, in genere orientato parallelamente alla costa, separato dal Mare (o dall'Oceano) grazie a delle barriere sabbiose e unito a questo attraverso delle aperture dette canali. La profondità raramente supera il paio di metri. La laguna può più o meno essere soggetta all'influenza delle maree e l'acqua può avere svariati gradi di salinità: ciò dipende dall'equilibrio idrologico tra l'acqua del mare e quella dolce continentale. La formazione delle lagune è il risultato dell'innalzamento del livello del mare durante l'Olocene e il Pleistocene e della formazione delle barriere di sabbia durante i processi marini. Alcuni esempi di laguna: Laguna de Terminos, Mexico, Lagoa dos Patos, Brazil, the Coorong, Australia, Orbetello e Venezia in Italia.

3. Fiordi: i ghiacciai che giungono fino al mare erodono la costa, scavando incisioni perpendicolari e costruendo il profilo frastagliato tipico dei fiordi. Queste aree sono caratterizzate da bassa salinità nello strato superficiale dell'acqua, quello spesso a contatto diretto con il ghiaccio, mentre in profondità la salinità aumenta per l'avanzamento delle acque marine attraverso il moto delle maree. I fiordi hanno profondità ingenti, fino a centinaia di metri. Un esempio di fiordo è Oslofiorden in Norvegia.

4. Baia: una rientranza della costa che è in genere il risultato di un processo geologico tettonico o locale, spesso influenzato direttamente dalle maree. Le baie mostrano un grado di salinità che va da quello dell'Oceano a quello dell'acqua salmastra. Questo tipo di sistema viene detto comunemente anche Golfo. Esempi di baie: Baia di San Francisco, USA, Baia di Tokyo, Giappone, Baia di Guanabara, Brasile e il Golfo di Napoli in Italia.

5. Fiume soggetto a onda di marea: si tratta di grossi fiumi che scorrono sino all'Oceano e sono soggetti a onde di marea che in alcuni periodi riescono a risalire la corrente verso l'interno. L'energia dell'onda si propaga molto velocemente e l'acqua salata viene portata nell'entroterra. Molti estuari sono caratterizzati da questi fenomeni. Questo sistema comincia nel punto più interno in cui è misurabile il contributo salino del mare e finisce dove comincia l'Oceano. Alcuni Chilometri Del Rio delle Amazzoni in Brasile sono un esempio di fiume soggetto a onda di marea.

6. Stretto: si tratta di una via del mare nell'entroterra, che unisce due oceani o mari. Le caratteristiche dello stretto, come la circolazione dei flussi, la distribuzione salina e i processi di marea, possono essere molto vari anche lungo il profilo dello stretto stesso. Un esempio di questo sistema è lo Stretto di Magellano in Cile, le Bocche di Bonifacio tra la Sardegna e la Corsica in Italia.

2.1 Le lagune costiere

Secondo le definizioni più comuni, si può dire che le lagune costiere sono specchi d'acqua salmastra, generalmente allineati alla linea di costa, separati dal mare per mezzo di un cordone di dune ma comunicanti con esso grazie ad un sistema di aperture (Palazzi & Folena, 1992). La loro morfologia si può riassumere nelle tre componenti principali:

- Una barriera sabbiosa
- Una distesa d'acqua
- Dei canali

Le lagune sono ambienti molto importanti e indagati poiché si trovano a tutte le latitudini e longitudini, occupando all'incirca il 13% delle linee di costa del mondo. Il contributo

delle lagune lungo le linee di costa è stimato in: 17.6% in Nord America, 12.2% Sud America, 5.3% Europa, 17.9% Africa, 13.8% Asia e 11.4% Australia. Le lagune possono avere grandezze molto variabili: la più grande è la Lagoa dos Patos in Brasile che ha una superficie di 10.200 Km². La profondità media è di 1-3 m, ma in genere non supera i 5 metri, le lagune più profonde superano i 10m metri di profondità, come la Laguna di Belize in Messico, profonda 15m (Kjerfve, 1986). Nella dinamica della laguna molto importante è il ruolo sia dei sedimenti terrigeni che della materia organica, i quali si depositano nei fondali, giocando a volte un ruolo di filtro delle acque. La sedimentazione può avvenire con ritmi molto differenti. Lo studio della sedimentazione e qualità del sedimento è importante per capire le peculiarità dell'area, e viene praticata spesso per verificare le potenzialità economiche di attività umane come la piscicoltura e/o l'estrazione del sale (Kjerfve, 1994).

Su scala geologica le lagune sono formazioni di breve durata, in quanto la loro esistenza è minacciata anche da deboli cambiamenti di un qualsiasi parametro ambientale come l'apporto di detriti dall'entroterra, la chiusura delle aperture lungo il cordone litorale o il cambiamento del livello eustatico.

Nel breve periodo l'influenza maggiore nella dinamica lagunare viene non tanto dal contributo ambientale ma dal tasso di antropizzazione in atto, che nel mondo ha visto un aumento esponenziale: esso va di pari passo con un incessante e graduale degrado delle risorse ambientali (Lloret et al., 2008).

A livello geologico quindi la genesi delle lagune può avvenire solo se la formazione morfologica dell'entroterra favorisce il mantenimento delle acque da inondazione e alluvione all'interno di un bacino e il regime di sedimentazione apporta materiale utile a formare i cordoni litorali che separano la laguna stessa dal mare. L'equilibrio di queste componenti è molto sottile perchè, come detto poc'anzi, basta che cambino alcuni fattori e la laguna si estingue, regredendo e insabbiandosi o venendo inglobata dal mare.

Le lagune costiere secondo Bird (1994), se sono abbastanza estese, possono essere distinte internamente in tre aree (vedi Fig.1):

La parte esterna. E' l'area vicina ai canali del cordone sabbioso che divide il mare alla laguna. In questa zona l'influenza del mare è più incisiva, infatti la salinità è maggiore e le maree notevoli. L'accumulo di sedimenti è rilevante lungo la linea di costa prospiciente il mare, incrementando lo spessore della spiaggia costiera e alzando il fondo marino (delta di marea).

La parte mediana. Si tratta dell'area centrale della laguna, dove l'acqua è salmastra. Le deboli correnti concorrono ad erodere i bordi creando delle piccole falesie e degli spit dalla caratteristica forma ad uncino.

La parte interna. L'acqua è molto salata e le variazioni nel suo livello è molto bassa. Nei punti in cui arrivano i rivi d'acqua continentali si formano velocemente dei piccoli delta. In quest'area si trovano spesso canneti che costituiscono l'habitat più sicuri per numerose specie acquatiche e l'avifauna.

Le principali forze che condizionano la morfologia della laguna sono il mare (onde e maree), lo scorrimento delle acque continentali e il moto dei venti.

Il cordone sabbioso che separa la laguna dal mare aperto ha differente ampiezza e presenta vari ambienti quali spiaggia, dune embrionarie, dune vegetate, etc.... I processi legati al moto ondoso possono quindi rompere la continuità del cordone e formare wash over fan (delta tidale): tale processo porta ad una migrazione del cordone verso terra.

I rivi d'acqua dolce che si immettono nella laguna, compresi gli scarichi intubati come quelli delle fogne, contribuiscono allo sviluppo dei moti convettivi interni.

I venti invece hanno dinamiche molto diverse. La maggioranza soffiano dal mare verso la terra e tendono a trasportare la sabbia dal litorale verso l'interno: in particolare nelle lagune in regioni aride, questo fenomeno provoca il riempimento della laguna e la sua estinzione. Nelle lagune più vaste, qualsiasi sia la loro direzione, i venti generano onde che vanno ad erodere le sponde e far nascere nelle zone meno profonde delle turbolenze che rimettono in sospensione parte del sedimento depositato sul fondo.

Nelle zone del mondo in cui le maree sono deboli e i flussi delle acque continentali poco consistenti, il moto dei venti è il fattore principale di movimento delle acque all'interno della laguna.

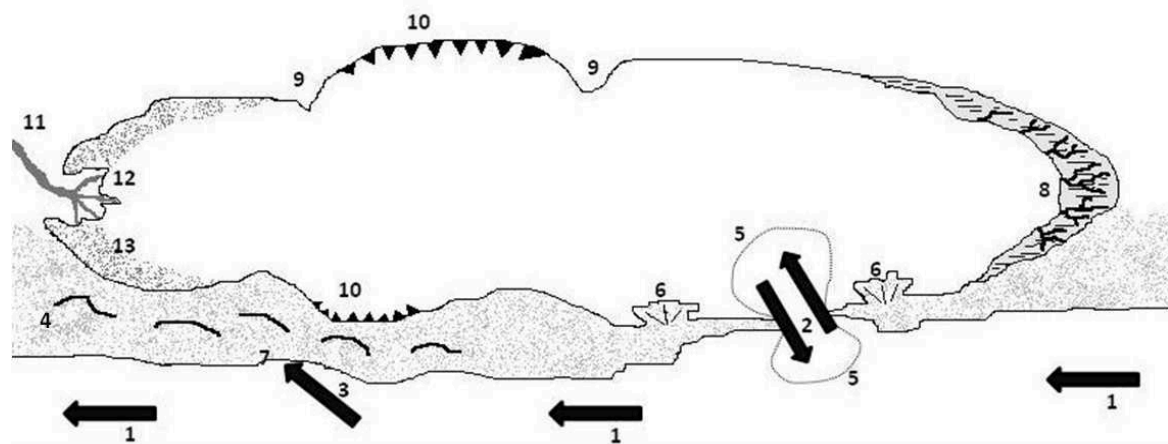


Figura 1 Le differenti unità geologiche di una laguna e i fattori di agitazione delle acque (da Bird, 1994). 1-moto ondoso lungo la linea di costa; 2-correnti del mare; 3-venti dominanti dal mare; 4-cordone litorale; 5- delta marino; 6-cono di debordamento; 7- dune; 8- distese fangose e canali di marea; 9-piccola area litanea interna; 10-piccole falesie; 11-rivo; 12-delta; 13 area di erosione/deposizione detriti.

Oltre che dalla morfologia la dinamica delle lagune è influenzata da varie forze quali: l'entrata delle acque continentali, il moto dei venti, le maree, il rapporto tra precipitazioni ed evaporazioni, la temperatura della superficie dell'acqua. La salinità e la qualità dell'acqua, nonché i processi di eutrofizzazione sono strettamente dipendenti dai flussi delle acque marine che penetrano nella laguna; l'ossigenazione delle acque è maggiore tanto più la corrente è veloce e produce apprezzabili moti convettivi. Poiché sono numerosi gli aspetti che concorrono a definire un ambiente lagunare, col tempo sono nate diverse classificazioni delle stesse e ognuna di esse prende in esame un fattore principale diverso.

a) Geomorfologia

Kjerfve (1994) divide le lagune costiere in tre tipi, in base alla loro geomorfologia (vedi Fig.2). Molto importante in questa classificazione è l'apporto delle acque marine che condizionano in maniera predominante la forma della laguna stessa. Le tipologie sono:

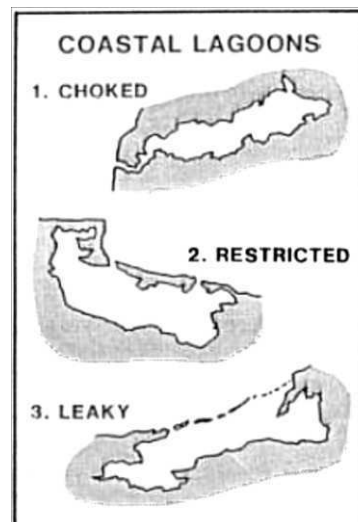


Figura 2 Le tre tipologie di laguna: Choked, Restricted e Leakly. Da Kjerfve (1994).

Choked Lagoons: Consiste in un lungo canale sul cui asse si sviluppano varie aree elicoidali che insieme concorrono alla formazione della laguna. Sono in genere trasversali alla costa e fortemente influenzati dall'oscillazione delle maree; le maree comunque non penetrano con la stessa forza esercitata sulle coste, in quanto il moto ondoso all'interno delle lagune riesce a mitigare la forza del mare. Il moto delle onde in queste lagune è inferiore del 5% rispetto a quello esercitato dal mare sulle coste adiacenti. Il flusso del canale che unisce la laguna la regimenta e la deposizione è intermittente poiché controllata per lo più dai regimi termici. Nelle zone aride e semi aride questo tipo di lagune è spesso caratterizzato da ipersalinità delle acque. Le lagune Choked sono orientate trasversalmente alla linea di costa, ma capita che siano associate con delta di fiume o occasionalmente siano allineati alla costa. Esempi di queste lagune sono la Lagoa dos Patos e la Lagoa de Araruama, in Brasile, Lake St. Lucia, in Sud Africa, la laguna Coorong, in Australia, e il Lago Songkla, in Thailandia.

Restricted Lagoons: Larghi e profondi specchi d'acqua orientate nel verso della costa, che mostrano due o più canali di raccordo tra la laguna e il mare. Queste lagune hanno una circolazione molto stabile, influenzata da livello e intensità delle maree e dalla forza e direzione dei venti, l'acqua ha una salinità costante lungo tutto il profilo. Esempi di

questo tipo sono la Laguna de Terminos, in Messico e Lake Pontchartrain, in USA, la laguna di Marano, in Italia.

Leaky Lagoons: Corpi idrici orientate parallelamente alla costa dove la forza delle correnti è sufficientemente forte. La forza delle onde lungo il litorale tende con il tempo ad occludere le aperture della laguna. Questi laghi sono caratterizzati dal vigoroso passaggio delle maree e un rapporto costante e duraturo nello scambio tra le acque marine e quelle della laguna. La salinità si avvicina a quella del mare. Mississippi Sound, in USA e Wadden Zee, in Olanda/Danimarca sono ottimi esempi di questi sistemi. La laguna di Nador fa parte di questo gruppo.

b) Idrologia

Postma (1969) divide le lagune in base all'idrologia, considerando il grado di salinità della laguna stessa rispetto a quella del mare, per visualizzare la qualità e il carattere del ricambio delle acque (vedi Fig.3). Ha individuato tre tipi principali:

Tipo ad estuario: L'acqua della laguna ha salinità inferiore a quella del mare. Il clima è di tipo umido grazie all'ingente apporto di acqua dolce continentale. La circolazione è paragonabile a quella di un estuario. La circolazione delle acque avviene lungo il profilo: le acque della laguna in superficie fuoriescono mentre quelle marine penetrano nello strato più basso della colonna d'acqua. Il mescolamento delle acque è influenzato dal grado delle maree.

Tipo neutro: La salinità della laguna è la stessa del mare. Le correnti sono governate solamente dalle maree. La laguna di Nador attualmente appartiene a questa tipologia (vedi capitolo 3.4).

Tipo anti-estuario: L'acqua della laguna è più densa e salina di quella del mare: questo tipo di lagune è caratterizzato da un clima arido che causa una forte evaporazione della superficie dell'acqua lagunare. A differenza del tipo ad estuario, l'acqua della laguna più densa fuoriesce in profondità mentre quella del mare penetra negli strati più alti.

Questi sono i tre tipi principali, ma le lagune possono avere degli stadi intermedi di salinità, grazie a fattori come il grado di isolamento della laguna rispetto al mare e il clima. Correnti marine e maree deboli compromettono la capacità di penetrare delle acque marine all'interno della laguna riducendo la capacità di ricambio delle acque. Nel caso contrario, se le correnti e le maree sono forti, ci sarà un forte flusso del mare nella laguna e le zone intertidali saranno più estese. Ciò influenzerà anche la corrente all'interno della laguna e i ricambi d'acqua saranno più rapidi.

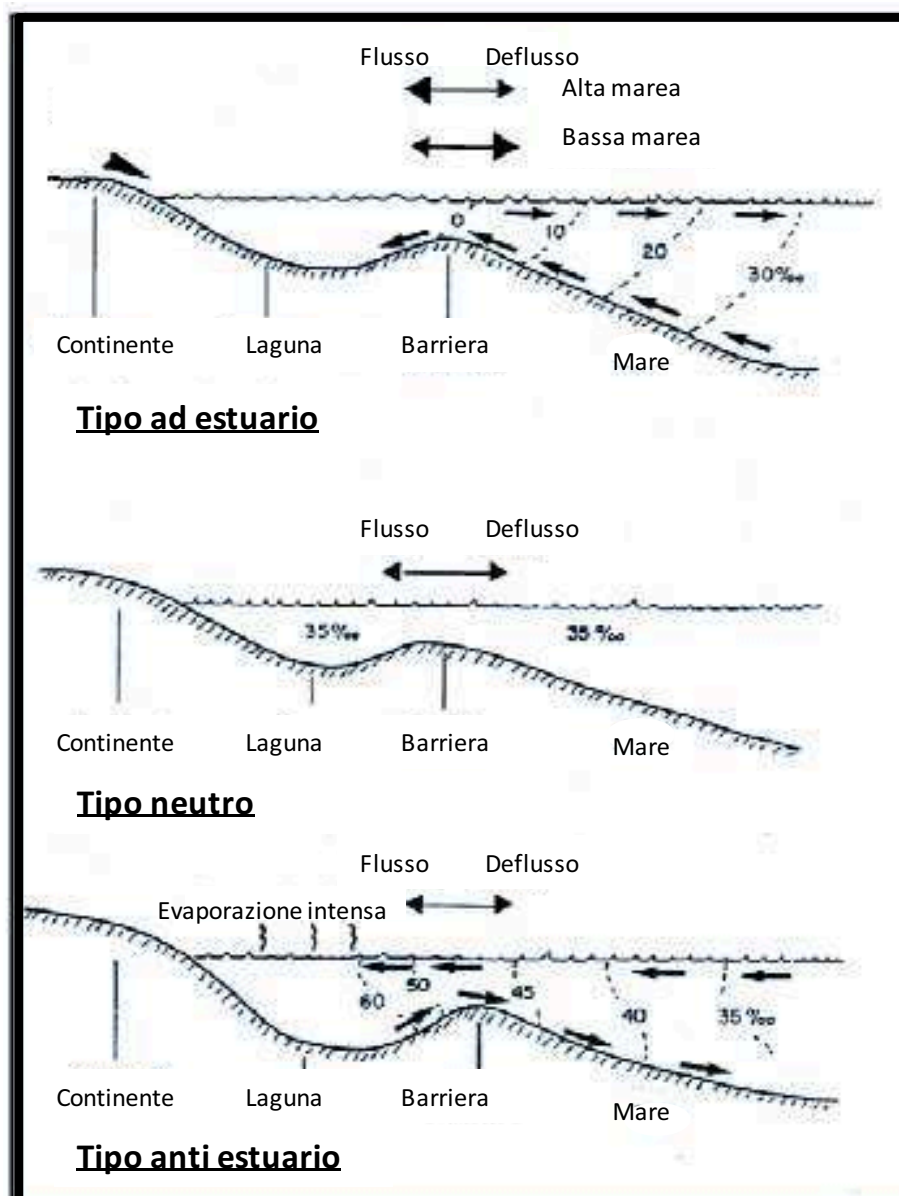


Figura 3 Le differenti tipi di lagune (da Postma, 1969).

c) *Regime di marea*

Hayes (1975) considera le maree un fattore fondamentale per classificare le lagune, poiché controllano il tipo di deposizione dei sedimenti e di conseguenza la morfologia stessa della laguna. I parametri presi in considerazione sono quelli che si utilizzano per descrivere il regime tidale.

Regime microtidale (escursione di marea inferiori a 2 m) Caratterizzato da fenomeni di washover; i passaggi e i delta di marea sono in genere di piccola taglia, mentre la facies intertidale è sviluppata. E' il caso della laguna di Nador (Ruiz et al., 2006).

Regime mesotidale (escursione di marea compresa tra 2 e 4 m) Le correnti di marea si fanno più forti. La barriera è corta, ma l'apporto di sedimenti è importante, perciò abbiamo delta di marea e facies intertidali più ampi.

Regime macrotidale (escursione di marea superiore a 4 m) Esistono pochi casi in cui i sistemi lagunari riescano a sopravvivere ad un'escursione di marea così elevata.

d) La sedimentazione

Lankford (1977) divide le lagune in base ai fattori dominanti che muovono la dinamica di accrescimento della barriera lagunare. Egli descrive cinque tipologie fondamentali: in quattro la sedimentazione gioca un ruolo fondamentale mentre nell'ultima sono i fattori tettonici a essere preponderanti. Questi differenti contributi sedimentari possono variare nella storia della laguna, ad esempio per un cambio nell'intensità delle correnti fluviali, o perché a seguito del fenomeno tettonico si instaura un regime differente che contribuisce al mantenimento e morfologia della laguna stessa.

Barriera da sedimentazione costiera: Presenza di una depressione fluviale dove le correnti del fiume sono deboli e quelle costiere invece sono in grado di trasportare e lasciare depositare importanti quantitativi di sedimenti.

Barriera da sedimentazione deltizia: Presenza di una depressione fluviale, ma in questo caso è la corrente del fiume a portare in maggior quantità il sedimento che poi costituirà il cordone litorale della laguna.

Barriera da sedimentazione marina: Non abbiamo la presenza di una depressione fluviale e la barriera costiera viene costruita per la sola azione marina.

Barriera da sedimentazione organica: Caratterizzata da una depressione in cui organismi viventi costituiscono una barriera naturale, come l'esempio delle barriere coralline.

Barriera di origine tettonica: Si osserva una depressione e la costituzione di una barriera in seguito a fenomeni tettonici: si tratta di una depressione formata a causa di processi tettonici e può essere una successione horst e graben.

La laguna di Nador, oggetto di studio di questa tesi, ha una barriera composta da diverse facies (Dakki et al., 2003): la parte meridionale della barriera è costituita da una facies calcarenitica risalente al Pleistocene (barriera da sedimentazione organica), mentre la parte settentrionale è costituita dal sedimento sabbioso accumulatosi col tempo, con spit (scanno) e piane tidali (barriera da sedimentazione marina).

Attualmente sono in corso numerose ricerche a carattere internazionale per trovare sistemi più accurati e univoci per la classificazione degli ambienti marini e costieri e degli habitat che caratterizzano queste aree. A livello europeo citiamo Natura 2000 (<http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/>) e il database EUNIS (European Nature Information System, <http://eunis.eea.europa.eu>), entrambi a cura dell'European Environmental Agency, con lo scopo di classificare, selezionare habitat europei in cui promuovere azioni conservative, con una nota di riguardo per quelli che sono gli ambienti marini.

Negli Usa invece abbiamo il Federal Geographic Data Committee, (2012), catalogo del CMECS (Coastal and Marine Ecological Classification Standard), redatto dalla NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration): si tratta di un documento utile per classificare con termini univoci le aree marine, comprese quelle costiere o deltizio-fluviali. La classificazione prevede una determinazione multifattoriale dell'ambiente in analisi, attraverso l'incrocio di più dati, di tipo fisico, chimico e biologico (vedi Fig.4).



Figura 4 Schema delle componenti classificate attraverso il CMEC. Tratto da <http://www.csc.noaa.gov/digitalcoast/publications/cmecs>.

2.2 La fragilità degli ambienti lagunari

Questi ambienti così delicati sono importanti aree di studio, in quanto le lagune spesso mostrano un elevato e variegato numero di specie animali e vegetali; sono di frequente la dimora di specie uniche, che non si trovano in altri luoghi (come ad esempio la piccola farfalla notturna *Leyla cenosa* endemica, presente solo nella laguna di Orbetello, www.wwf.it/oasi/toscana/) o di gruppi di specie animali e vegetali che, nel loro insieme, diventano un patrimonio esclusivo e caratteristico di ogni laguna. Il legame tra flora, fauna e ambiente lagunare è unico e complesso. Questa caratteristica di eccezionalità ne determina spesso una fragilità intrinseca: bastano leggere variazioni climatico-ambientali per rivoluzionare la biodiversità dell'intero sistema. Diventa quindi indispensabile studiare con cura tutti i tratti salienti delle aree lagunari, capire lo stato attuale e comprendere che variazioni siano in essere e, in particolare, verso quale nuove condizioni si giungerà. Prevedere l'evoluzione futura è il modo più incisivo per poter porre rimedio in tempo utile ad eventuali problematiche ambientali.

Queste accortezze sono un'esigenza primaria per la salvaguardia ambientale di aree che spesso sono sede di importanti centri urbani i quali nella laguna hanno trovato la fonte primaria di sostentamento (Lloret et al., 2008). Infatti la laguna, con le acque calme e poco profonde, diventa il sito ideale per porre porti, pescare e avviare attività di acquacoltura. L'uomo nel corso della storia ha sempre cercato aree dove poter vivere e prosperare, modificandole a proprio piacimento. Ma è con l'industrializzazione che questa caratteristica ha creato notevoli problemi, in quanto le nuove attività umane degradavano le risorse ambientali a ritmi maggiori di quanto queste potessero riequilibrarsi, innestando quel drammatico disequilibrio che c'è oggi tra natura e uomo (Lloret et al., 2008).

In questo scenario gli ambienti umidi si dimostrano ancora più sensibili, e non a caso sono spesso tutelati con legislazioni apposite, come quelle di numerose oasi e parchi italiani in aree lagunari (ad esempio la Laguna di Orbetello, GR, e la riserva naturale Valle Canar Novo in Marano Lagunare, UD). Le acque di transizione, come le lagune, sono tra le aree maggiormente impattate nel mondo; tale condizione di fragilità viene riconosciuta da varie organizzazioni governative (UE Water Framework Directive, 2000; The United Nation Environment Programme e la Convenzione Ramsar) (Flower et al., 2009).

Le principali fonti di inquinamento in ambiente lagunare sono:

1. Fertilizzanti, pesticidi e agrochimici:

L'agricoltura è spesso la maggiore fonte di inquinamento a causa dell'arricchimento di nutrienti nelle acque superficiali; si tratta di fertilizzanti costituiti soprattutto da ioni NH_4 e NO_3 , in genere scarsamente biodegradabili che permangono nell'ambiente a lungo (Saccon et al., 2013; Galindo et al., (2007). Un grosso contributo a questo degrado lo danno le nazioni emergenti, come quelle orientali, dove l'agricoltura è massiva e i sistemi di contenimento degli inquinanti non è ancora adeguato: si stima ad esempio che il Bangladesh, con le sue 9000 tonnellate di differenti pesticidi e 2 milioni di tonnellate di fertilizzanti utilizzati rilasci lungo le coste circa 1800 tonnellate di residui di pesticidi all'anno (Shahidul Islam & Tanaka, 2004). Attraverso la catena alimentare questi prodotti giungono dalla base al vertice, spesso costituito dall'uomo. La circolazione delle sostanze tossiche nell'ecosistema avviene quindi per due fenomeni principali: la bioconcentrazione e la biomagnificazione, che sono, rispettivamente, l'accumulo di sostanze tossiche dall'ambiente all'organismo, spesso in virtù della lipofilia e la tendenza di alcune sostanze chimiche a diventare sempre più concentrate man mano che si sale di livello nelle catene trofiche (Duursma & Marchand, 1974).

2. Rifiuti domestici e urbani e fanghi di depurazione:

I volumi maggiori di inquinanti riversati negli ambienti lagunari sono senza dubbio i reflui di depurazioni, i quali contengono svariate sostanze che vanno dai rifiuti domestici (scarichi di lavatrici, materie fecali, rifiuti di cucina) ai reflui industriali. Questo tipo di inquinamento è strettamente legato per grado di dannosità alla densità demografica e industriale della zona prospiciente la laguna. I reflui sono difficili da studiare a causa dell'eterogeneità dei componenti presenti; a livello di inquinanti abbiamo ad esempio metalli pesanti (As < 0.1, Cd < 0.02, Cr 0.1-0.5, Cu 0.2-0.5, Pb 0.08-0.4, Zn 0.4-0.7 tutto in ppm), sostanza organica e/o agenti patogeni, quali virus e batteri (Grillo et al., 2001). A incidere inoltre sull'impatto dei reflui vi è anche il grado tecnologico delle azioni di depurazione messe in atto che però nella

maggioranza dei casi possono minimizzare ma non azzerare il problema dei reflui (Shahidul Islam & Tanaka, 2004).

3. Petrolio e suoi derivati:

Lo scorso secolo è stato caratterizzato dall'aumento nell'uso del petrolio e dei suoi derivati. Quasi 9 milioni di barili di petrolio vengono rilasciati negli oceani ogni anno. Tuttavia, circa la metà di questo importo proviene da infiltrazioni naturali, il 35% proviene da attività umane quali il dilavamento urbano o smaltimento non corretto dei prodotti petroliferi, il 12% proviene da trasporto (petroliere, chiatte, e oleodotti), e solo il 3% è da petrolio attività di estrazione (Cohen, 2013).

4. Metalli pesanti:

I metalli pesanti, che si trovano come elementi in traccia, sono un gruppo di elementi, metallici e metalloidi che in genere hanno una massa atomica elevata ($> 5 \text{ g cm}^{-3}$) (Alloway, 2013); a certe concentrazioni e condizioni chimico-fisiche però la loro presenza diventa dannosa poiché entrano nel ciclo ambientale marino attraverso l'atmosfera e le immissioni idriche di vario genere. Il problema principale dei metalli pesanti è che non sono degradabili e persistono a lungo nell'ambiente. In molti studi si descrivono gli effetti negativi di questi elementi, ma per la vita marina possiamo dire che i più pericolosi sono: mercurio, cadmio, argento, nichel, selenio, piombo, cromo, arsenico e zinco. Maggiormente dannosi sono i metalli che si presentano in forma cationica, capaci quindi di assimilarsi alle catene organiche ed entrare nei tessuti attraverso bioaccumulo (Bellucci et al., 2002; Bloundi et al., 2009; Arienzo et al., 2013).

5. Composti organici:

Molte sostanze sintetiche di tipo organico diventano pericolose per la qualità degli ambienti marini. Sostanze come organofosfati, organocloriti, PAHs, PCBs, HCH, DDT (e loro derivati) sono stati rilevati da vari studi in ambienti di ogni tipo e su numerose specie animali e vegetali. Ad esempio il DDT, nonostante attualmente sia stato bandito da numerose Nazioni, si trova ancora in quantità apprezzabili negli oceani e nei mari artici, confermando la lunga permanenza negli ambienti e la mobilità con cui queste sostanze, una volta immesse nell'ambiente, riescano a raggiungere i luoghi più disparati (AMAP, 2002). I composti organici spesso causano problemi al sistema

nervoso, deformazioni, mutazioni, cancro e infertilità. Si stima che le sostanze sintetiche organiche immesse negli oceani siano 2×10^{12} tonnellate che, messe in rapporto con la massa d'acqua, evidenziano una concentrazione di 1.5 mg l^{-1} . Il problema ulteriore è che queste sostanze vengono assorbiti da tutti gli attori della catena alimentare, partendo dal plancton, passando per i pesci, gli uccelli e i mammiferi, compreso l'uomo (Shahidul Islam & Tanaka, 2004).

6. Plastica:

Pare che nei mari del mondo la plastica sia il rifiuto più comune. La plastica in tutte le sue composizioni e forme (frammenti, fibre, film, pellet) ha tempi di degrado lunghissimi ed è quindi difficile da eliminare (Vianello et al., 2013). I suoi frammenti si confondono per dimensioni e colore ai sedimenti dei fondali; per questo viene scambiata dai pesci e dagli uccelli per cibo, tanto che lo ingeriscono con gravi danni per la salute, giungendo spesso alla morte: si stima che circa l'80% degli uccelli marini ingerisca quotidianamente frammenti di plastica (Allsopp et al., 2006). I frammenti di plastica che si depositano sui fondali ostruiscono il naturale rapporto tra sedimento e mare, provocando fenomeni di anossia. Le ricerche che si occupano di queste problematiche sono molte, ma ancora non sono chiari fino in fondo i disagi provocati in ogni aspetto della vita negli ambienti marini.

7. Sedimenti:

Il degrado ambientale associato alle aree maggiormente urbanizzate ha dato luogo a problemi di uso del suolo: nell'ultimo secolo i detriti dell'entroterra sono stati trasportati con più facilità verso i mari, comportando diverse problematiche. Si stima che, a metà del XX sec, il carico globale dei sedimenti per gli oceani sia stato di 20.000 milioni di tonnellate all'anno, di cui circa il 30% proveniente da fiumi dell'Asia meridionale (Milliman & Syvitski, 1992). In primo luogo la torbidità delle acque è aumentata, diminuendo la capacità di penetrazione dei raggi solari e mettendo in serio rischio l'equilibrio ecologico. Inoltre i sedimenti, in particolare quelli di granulometria più fine, sono ottimi veicoli per sostanze inquinanti, come i metalli pesanti e le sostanze organiche di sintesi. Negli ultimi anni si sono sviluppati dei parametri scientifici per comprendere la pericolosità dei sedimenti, come il coefficiente K_{ow} (octanol-water partitioning), che definisce l'affinità tra determinate matrici terrigene e i composti organici (Shahidul Islam & Tanaka, 2004).

8. L'eutrofizzazione e fioriture algali:

La massiccia presenza nei mari di reflui contenenti sostanze organiche utilizzabili come nutrienti dalle alghe ne amplifica la loro presenza fino ad arrivare all'eutrofizzazione, fenomeno per cui le alghe si riproducono a dismisura, aumentando la torbidità delle acque e assorbendo tutto l'ossigeno disciolto; i pesci così muoiono per asfissia. In alcuni casi l'inquinamento algale favorisce la fioritura delle alghe rosse, con numerosi problemi per la salute pubblica, come irritazioni delle mucose e degli occhi di chi abita in vicinanza della costa. Non trascurabile poi anche il problema estetico, che può far decadere in poco tempo l'industria turistica di una località colpita da problemi di eutrofizzazione (El Madani et al., 2002).

9. Attività di acquacoltura:

L'impatto di un'attività di acquacoltura è simile a quello di un allevamento a terra: aumento delle deiezioni fecali, algacidi, erbicidi, ormoni, osmoregolatori, piscicidi, mangimi, ecc. Le attività di piscicoltura diventano quindi un'area di disturbo nell'equilibrio ecologico, alterando localmente le disponibilità di ossigeno, la presenza organica e di altre sostanze. I dati FAO affermano che dal 2000 al 2005 la produzione mondiale di acquacoltura è passata da 35,5 a 47,8 milioni di tonnellate, con un incremento del 34,65%, spesso non accompagnato da adeguate norme ambientali (www.fao.org). Un altro problema, non trascurabile, è l'equilibrio degli allevamenti con l'ecosistema presente: a volte gli allevatori sterminano alcune specie di pesci poiché potenziali predatori della specie allevata; in altri casi si decide di allevare specie non autoctone e la fuoriuscita di alcuni esemplari genera il cosiddetto inquinamento biologico (Allsopp et al., 2008).

10. Inquinamento biologico:

Come detto in precedenza, capita sempre più spesso che in alcune località vengano introdotte accidentalmente nell'ecosistema specie esotiche, con svariate conseguenze. Le cause sono molteplici, dalla fuga di alcuni capi dagli allevamenti, all'abbandono di animali degli acquari da parte di chi non sa come liberarsene. Gli animali entrano in competizione con l'ambiente: a volte periscono, altre si riproducono a discapito delle specie autoctone, alterandone l'equilibrio. Capita anche che gli allevamenti ittici abbiano specie autoctone ma geneticamente modificate: anche la loro introduzione

nell'ambiente naturale può causare danni, poiché possono essere portatori di germi ai quali gli altri pesci sono vulnerabili (Angiolini et al., 2013).

2.3 Le lagune antropizzate

Gli ambienti lagunari, grazie alla mitezza delle acque, che forniscono un ambiente riparato dalla forza delle mareggiate ma nel contempo godono della vicinanza al mare e della ricchezza ittica, sono stati occupati fin dagli albori della storia dell'uomo. Molte popolazioni in origine vivevano questi luoghi utilizzando palafitte, in modo da evitare i problemi dovuti alle maree e riparandosi dai pericoli della terraferma, come animali feroci o nemici (Lloret et al., 2008). Con il tempo l'uomo ha regimentato anche questi ambienti: costruzione di canali, barriere, porti e imponenti siti urbani. In molti casi si è cercato di rendere più stabile l'evoluzione morfologica della laguna, ad esempio deviando i corsi d'acqua che portavano i sedimenti dentro il bacino lagunare con il rischio dell'interramento: celebre è il caso di Venezia che ha rinforzato i cordoni sabbiosi con poderose mura settecentesche in Pietra d'Istria, detti Murazzi, e ha deviato il corso dei fiumi Sile, Piave e Brenta al di fuori dell'area lagunare (www.silvenezia.it). Inoltre, con l'aumento demografico e le nuove scoperte tecnologiche, sono nati centri di acquacoltura che occupano ingenti aree di molte lagune, in quanto sono l'habitat ideale per numerose specie mitili, molto ricercate dai mercati di tutto il mondo. Il problema maggiore dell'urbanizzazione rimane comunque il degrado delle risorse e l'inquinamento dovuto agli scarichi urbani e industriali. In passato le popolazioni delle lagune erano abituate a buttare in mare i rifiuti, ma la loro qualità e quantità era nettamente meno nociva di quella che viene prodotta in una città contemporanea. Spesso il primo segnale di degrado che mette in allarme la popolazione è l'eutrofizzazione: intorpidimento delle acque, moria di pesci a causa della mancanza d'ossigeno, problemi estetici e odori sgradevoli (El Madani et al., 2002).

Riportiamo di seguito una descrizione riassuntiva di altre aree lagunari soggette ad una forte pressione antropica come la laguna di Nador, oggetto del nostro studio, con lo scopo di dare uno sguardo a livello internazionale su quali siano le tipologie di indagine attuate e i risultati ottenuti

Lagune di Berre (Francia): Con i suoi 155Km², la laguna di Berre nel sud della Francia è la più estesa laguna del Mediterraneo europeo. Fin dagli anni 60 è stata oggetto di studio per quanto riguarda le problematiche ambientali legate all'inquinamento antropico. Negli anni 30 cominciano ad insediarsi sulle sponde le prime industrie petrolchimiche, ma è negli anni 60 che l'attività industriale aumenta con lo sviluppo di un nuovo impianto di lavorazione metallurgica e raffinazione del petrolio, con l'aggiunta dell'ampliarsi dell'area dell'indotto. Fin dai primi studi emerge come la laguna sia soggetta ad inquinamento da metalli pesanti, policiclici aromatici (PAHs), policlorinati bifenili (PCBs) e idrocarburi (HCs). Attualmente gli ultimi studi riportano come l'inquinamento si sia attenuato (assenti gli PAHs) ma che ad incidere sulla qualità dell'ambiente non vi è solo l'industria ma anche il comparto agricolo i cui reflui contenenti pesticidi e fertilizzanti si riversano direttamente in laguna (Marty et al., 1990). La particolarità dell'inquinamento sta nella localizzazione: a causa della geomorfologia dell'area e della composizione dei sedimenti gli agenti inquinanti tendono a localizzarsi solo in aree circoscritte Arienzo et al., 2013).

La laguna di Agiasma (Grecia): Il delta del fiume Nestos si trova nell'area N-E della Grecia e sfocia nel Mar Egeo, concludendosi con una serie di lagune limitrofe, di cui la più grande e importante è quella di Agiasma. Per la sua importanza naturalistica la laguna è inserita nell'elenco della convenzione di Ramsar. Nonostante la presenza lungo il delta di raffinerie, un immenso bacino agricolo (valle di Chrysoupolis), città densamente popolate e acquaculture, l'area non rileva preoccupazione per inquinamento da metalli pesanti, rimanendo sotto le soglie di sicurezza e ben al disotto dei valori di altre lagune del Mediterraneo. I risultati sono stati ottenuti mediante analisi dei sedimenti e dell'accumulo dei metalli pesanti in specie vegetali che vi dimorano (*Ruppia cirrhosa* e la macroalga *Ulva* sp.). Ad esempio mettendo a confronto i dati ottenuti per la *Ruppia Cirrhosa* della laguna di Agiasma rispetto a quella di Venezia riscontriamo che quest'ultima ha sempre valori più elevati: (valori in ppm) 26 Cu, 76 Pb, 50 Zn, della laguna di Agiasma contro 463 Cu, 278 Pb, 5930 Zn di quella di Venezia (Christophoridis et al., 2007).

La laguna di Szczecin (Polonia): La laguna accoglie le acque del fiume Oder e grazie ai tre canali Swina, Dziwna e Peenesi si apre sulla Baia Pomerania nel Mar Baltico. Vari studi hanno dimostrato come la laguna sia interessata da un inquinamento antropico da metalli pesanti, in quanto il bacino idrografico del fiume Oder raccoglie i reflui di lavorazione delle numerose miniere di carbone, metalli e industrie per la loro lavorazione. Nel 1995 l'area è interessata da un'intensa alluvione che sommerge tutti gli

abitati nell'intorno della laguna e lungo il fiume Oder. Nonostante il grande apporto di acque dolci che avrebbe potuto diluire la concentrazione di sostanze inquinanti, i sedimenti superficiali mostrano ancora una presenza preoccupante in metalli pesanti. Gli studi statistici sui dati ottenuti (Glasby et al., 2004) dimostrano come vi sia un alto fattore di arricchimento da inquinamento antropogenico, il cosiddetto AF (anthropogenic factor¹) i cui valori sono elevati in particolare per Cd (3.7), Zn (2.3), Cu (1.9) e Pb (1.9).

La laguna di Venezia (Italia): La laguna di Venezia è probabilmente una delle lagune più studiate al mondo, grazie alla sua celebrità, e alle peculiarità che la contraddistinguono, sia in termini morfologici, che di storia e antropizzazione (Frignani et al., 1997). Le aree più a rischio sono quelle prospicienti alle zone maggiormente industrializzate come Porto Marghera, oltre ai disagi provocati dallo sversamento in acqua dei reflui urbani della città di Venezia. I sedimenti superficiali mostrano un inquinamento zonale che non è influenzato dalle caratteristiche intrinseche del sedimento stesso (granulometria, tenore in carbonati, ...), ma bensì dalla vicinanza alle fonti di inquinamento, in prevalenza a carattere industriale. Nell'area di Porto Marghera (Bellucci et al., 2002) i sedimenti superficiali mostrano una concentrazione media di 132, 70, 48, 929, 8295 ppm per As, Cd, Hg, Pb and Zn, rispettivamente, di gran lunga superiore alla concentrazione media della laguna, dove anche i valori massimi sono sempre inferiori (25, 5, 2, 114, 1115 ppm per As, Cd, Hg, Pb e Zn).

Sacca di Goro: Quest'area lagunare si trova nella provincia di Ferrara, nella parte meridionale del Delta del Po; in questo specchio d'acqua si riversano le acque del Po di Volano e del Canal Bianco, i quali attraversano per decine di chilometri la pianura intensamente coltivata, raccogliendo i residui della fertilizzazione. L'economia più importante della Sacca di Goro è la molluschicoltura. Per tali motivi l'area è stata interessata nel tempo da numerosi studi (Guerzoni et al., 1984; Sacchi et al., 2013), sia per il comparto sedimentario, la qualità delle acque che il bioaccumulo da parte dei mitili. Pur rimanendo nel range medio d'intervallo dei sedimenti della provincia di Ferrara ($100 < Cr > 230$; $65 < Ni > 150$) i campioni della Sacca di Goro (Bertelli & Vaccaro, 2007) tendono a superare quelli che sono i limiti di legge imposti dal D.lgs 367/03 ($Cr=50$ ppm; $Ni= 30$ ppm).

Laguna dei Cigni (Cina): Questa piccola laguna (5Km^2) si trova sulla costa nord del Mar Giallo ed è collegata alla Baia di Rongcheng tramite un'apertura larga appena 100 m.

¹ AF viene calcolato facendo un confronto tra i valori del sedimento superficiale (Cs) rispetto a quelli dei sedimenti profondi (Cd), ovvero sotto i 25-30 cm di profondità; $AF = Cs/Cd$

L'area ha visto un rapido deteriorarsi della qualità ambientale a causa dell'improvvisa e rapida ascesa economica della Cina. Nella laguna la popolazione vive grazie ad una spinta acquacoltura e non molto lontano, lungo la costa, si trova la città di Rongcheng, celebre per i suoi cantieri navali e le industrie per la lavorazione del ferro e dell'acciaio. L'inquinamento da metalli pesanti è preoccupante, poiché la mobilità di questi elementi è alta e possono quindi accumularsi facilmente nei tessuti dei pesci lì pescati: i valori sono maggiori rispetto a quelli del fondo naturale per Cu (22 ppm), Pb (35 ppm) e Cd (0.3 ppm), mentre Zn (60 ppm) e Cr (40 ppm). Il cadmio presente nei sedimenti ha un'origine particolare: in quell'area c'è l'uso di ricoprire gli scafi con una vernice tossica per i pesci, per evitare l'accumulo organico, ma con il tempo la vernice rilascia nell'ambiente il Cd di cui è composta (Huang et al., 2013).

La laguna di Sidi Moussa (Marocco): La laguna si trova nel mezzo della costa atlantica del Marocco, ed ha una superficie di 4.200 km²; è collegata al mare solo da un passaggio nell'area meridionale. Gli studi geochimici sulla componente sedimentaria superficiale mostrano come vi sia una ripartizione specifica dell'inquinamento: in prossimità della bocca i sedimenti risultano più grossolani e inoltre le acque dell'Oceano riescono a penetrare, con una conseguente diminuzione dei valori puntuali dei metalli in traccia. In generale però la laguna risulta afflitta da problemi di inquinamento, con valori medi, in ppm, di 97 Cr, 30 Ni, 30 Cu, 50 Zn. Secondo un recente studio (Maanan et al., 2004) la fonte di inquinamento primaria non sembra essere l'industria, l'urbanizzazione o l'agricoltura ma bensì l'inquinamento atmosferico: vicino alla costa corre una grossa arteria viaria, dove il traffico è intenso e i gli scarichi degli automezzi vengono trasportati dal vento e depositati nella laguna stessa.

La laguna di Qualidia (Marocco): La laguna si trova sulla costa atlantica, poco più a sud della laguna di Sidi Moussa. Da recenti studi (Zourarah et al., 2007) pare che la laguna non sia particolarmente inquinata, anche se negli ultimi anni la concentrazione dei metalli pesanti è aumentata proporzionalmente all'aumento demografico delle aree urbane. Facendo degli studi stratigrafici si può notare che l'apporto di metalli pesanti è iniziato dagli anni 60-70 del secolo scorso, in corrispondenza con l'adozione di pratiche agricole intensive e l'uso massiccio di pesticidi. I sedimenti recenti rispetto a quelli più profondi, utilizzati come valore di fondo, mostrano una concentrazione maggiore: 48, 190, 77 e 27, ppm per Pb, Zn, Cu e Cr rispetto a 18, 140, 19 e 24, ppm per Pb, Zn, Cu e Cr nei valori di background.

Da questa breve carrellata su alcune lagune in cui sono stati effettuati studi sul comparto sedimentario sono evidenti alcuni fattori:

- La concentrazione di metalli pesanti nei sedimenti (in particolare Pb, Zn e Cu) aumenta in corrispondenza dell'incremento dello sviluppo socio-economico dell'area;
- Le attività maggiormente impattanti per le lagune sono comunemente le raffinerie, le industrie pesanti, la cantieristica navale e l'agricoltura intensiva;
- Le aree urbane sono sempre una fonte di inquinamento non trascurabile;
- Anche l'apporto eolico è da valutare, poiché anche l'inquinamento atmosferico, dovuto in particolare dal comparto degli automezzi e dei mezzi navali, si riversa e deposita poi nei sedimenti marini;
- Le caratteristiche del sedimento (granulometria, tenore in carbonati, geomorfologia, correnti marine) generalmente influisce sulla predisposizione di un'area ad essere più o meno soggetta ad inquinamento da metalli pesanti;
- Il solo dato di concentrazione in metalli pesanti sul totale non può essere utilizzato per determinare la qualità dei sedimenti: per giungere ad una migliore e più efficace descrizione è importante far riferimento a vari parametri internazionali (ex SQGs, EF, I-geo, ...).

Si rimanda al cap.5 per un confronto tra i dati delle lagune sopra elencate e i risultati ottenuti dall'analisi dei sedimenti della laguna di Nador.

3. Inquadramento dell'area

Il Marocco grazie alla sua posizione a cavallo tra il Mediterraneo e l'Atlantico e per le sue caratteristiche fisiche (ampie diversità orografiche, geologiche, climatiche, ...) è, tra i Paesi del Nord Africa, il più ricco in zone umide. Il Marocco ha un lungo profilo di costa di 1800 Km (www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2060.html), dove dimorano 2/3 della popolazione. L'entroterra è caratterizzato da un cospicuo numero di fiumi e rivi che, anche se non arrivano al mare, concorrono alla formazione di ambienti umidi; inoltre lungo la costa vi sono molte aree piane, punti preferenziali per le inondazioni marine e la nascita di lagune. Le zone umide di questa Nazione hanno un'importanza ecologica a livello mondiale, in quanto le rotte di milioni di uccelli migratori tocca queste terre.

La costa mediterranea del Marocco è lunga 500Km e si pone quasi esclusivamente ai piedi della montagna del Rif: l'ambiente dominante è quello delle falesie ed in qualche tratto si trovano delle rientranze in cui si sviluppano piccoli golfi e delle aree piane sabbiose che vengono riempite dal mare, formando aree lagunari.

Le più importanti sono:

1. La baia di Tetouan-Smir:
2. La baia di Al Hoceima
3. La baia di Bou Areg (o laguna di Nador)
4. La baia di Saida

Come detto in precedenza le aree lagunari sono ambienti di importanza ecologica strategica. Anche le zone umide del Marocco godono di numerose tutele nazionali e internazionali, volte alla tutela e conservazione dell'ambiente. Le prime azioni di tutela risalgono agli anni '60, ma la prima grande iniziativa è del 1980, quando quattro zone umide vengono inserite nei patti della Convenzione di Ramsar (www.ramsar.org)²: in seguito il WWF ha finanziato l'entrata di altri venti siti marocchini nella convenzione. Ma è del 1996 il più esaustivo inventario delle aree naturali del Marocco, ovvero il *Plan Directeur des Aires protégées du Maroc*, dove vengono messi in evidenza i siti più

² A febbraio ogni anno si festeggia Journée Mondiale des Zones Humides (JMZH), organizzata nelle aree aderenti alla Convenzione.

importanti inserendoli nel *SIBE*, ovvero l'elenco dei *Siti di Interesse Biologico ed Ecologico* (Dakki et al., 2003; Najih & Ramdani, 2010).

La Sebkhia Bou Areg, detta più comunemente laguna di Nador, è inserita a pieno titolo nel SIBE (vedi Fig.5), in quanto la sua fauna e flora è importante in termini di rarità e l'ambiente è rappresentativo in quanto si tratta della laguna più estesa di tutto il Nord Africa (115 Km²).



Figura 5 Cartello che avverte i visitatori che la Sebka Bou Areg fa parte delle aree umide protette a interesse internazionale (http://avesynaturanorteafricanas.blogspot.it/2011/02/saludos-todosas_28.html)

Attualmente la laguna è stata oggetto di studio da parte di numerosi autori, in particolare per definire gli aspetti della formazione geologica, lo studio batimetrico e, soprattutto, della qualità dei sedimenti e delle acque. L'aumento esponenziale della pressione antropica lungo le coste, in particolare con la città di Nador, ma anche con l'aumento demografico a Beni Ansar a nord e Kariat a sud, nonché l'aumento delle attività industriali e di pesca, hanno rotto il millenario equilibrio tra uomo e ambiente. I vari organi preposti alla salvaguardia ambientale hanno concesso finanziamenti alle ricerche per lo studio degli effetti dell'inquinamento e possibili risoluzioni al problema: tra questi citiamo il progetto MELMARINA, finanziato in parte dall'Unione Europea a cui hanno partecipato ricercatori di varie Università europee e del Nord Africa, che ha preso in esame lo stato ambientale di alcune aree umide dell'Africa Mediterranea (tra cui la laguna di Nador), mettendo in confronto tra loro tutti i dati ottenuti.

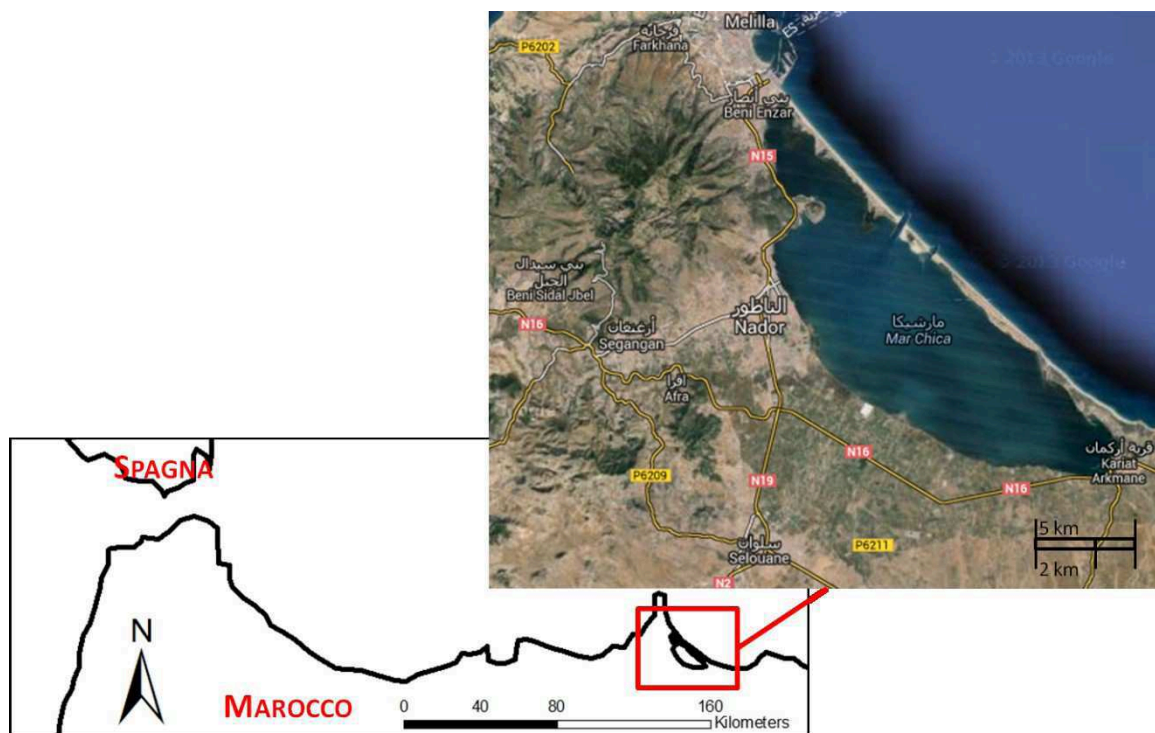


Figura 6 Mappa con la localizzazione della laguna di Nador (foto satellitare da <https://maps.google.it>).

La laguna di Nador si trova sul tratto di costa delimitato a nord da Cap des Trois Fourches e a sud Cap de l'Eau (vedi Fig.6). La laguna, detta anche Mar Chica (che in spagnolo significa Piccolo Mare), si sviluppa con orientamento NO-SE e ha una profondità massima che si assesta tra i 7- 8 metri nella parte centrale.

L'apporto idrico viene garantito:

- Dall'entrata del Mar Mediterraneo attraverso la Bochana (apertura principale sulla barriera costiera) a cui si è aggiunta nel dicembre 2012 un nuovo canale artificiale (progetto della Cité des deux Mer);
- I corsi d'acqua dolce che si immettono (il principale Oued Sabaude);
- L'acqua della stazione di depurazione che però attualmente serve solo la città di Nador.
- I reflui delle attività antropiche non trattati (agricoltura, acqua da uso domestico, industrie);

L'intorno della laguna è caratterizzato dalla delimitazione a N-O del massiccio del Gourogu, a S-E il massiccio del Beni Bou Infrour e tra i due la piana del Bou Areg e del Gareb (vedi Fig.7).

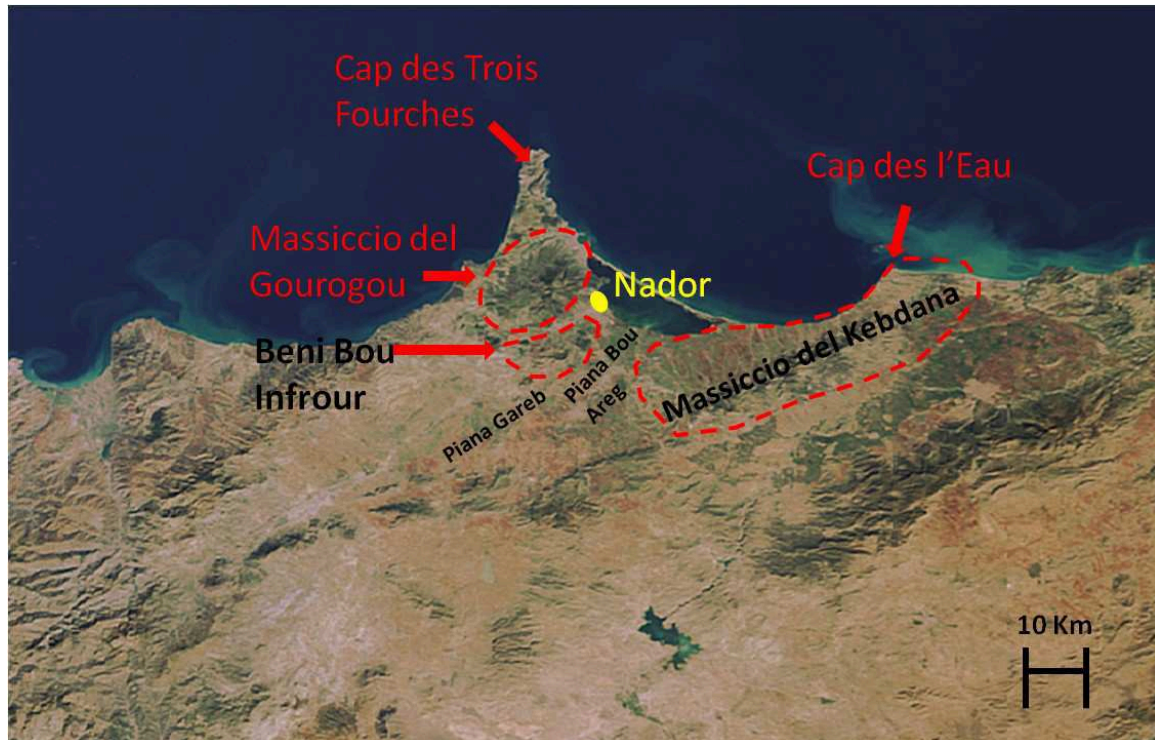


Figura 7 Visione d'insieme dell'area: in evidenza i complessi più importanti (foto satellitare da <https://maps.google.it>)

Massiccio vulcanico del Gourogou: Il Gourogou (vedi Fig.8) è il più elevato cono vulcanico dell'area, e si trova a Nord-ovest della laguna, dove sovrasta le città di Nador e Melilla. Il punto più alto è a 887 m. Il diametro in direzione N-S è di 15 Km, mentre in direzione E-O è di 25 Km (Mahjoubi et al., 2003 ; Dakki et al., 2003 ; Anahnah et al., 2009).

Questo massiccio si è formato grazie a tre tipi di emissioni vulcaniche, che si sono succedute dal tardo Terziario all'inizio del Quaternario: i) Calco alcaline (tendenza potassica); ii) Intermedie (Shoshoniti: trachiti e latiti); iii) Alcaline (basalti a tendenza sodica).

Per questo motivo è formato in prevalenza da rocce di origine lavica e piroclastica, in particolare andesiti, basalti, rioliti e trachiti, latiti e tufi.

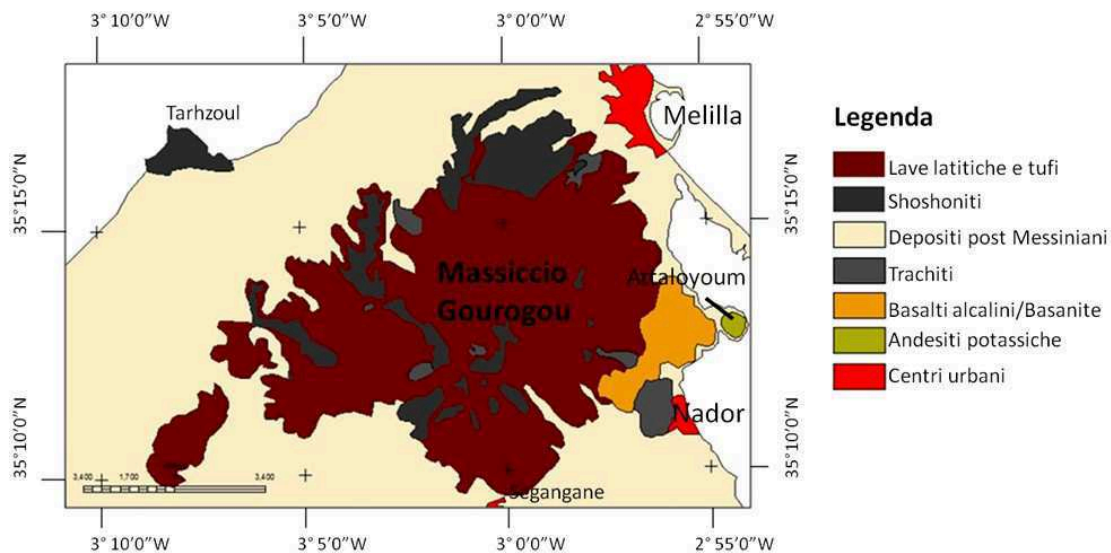


Figura 8 Carta geologica del Gourogou (modificata da Gill et al., 2004)

L'area presenta anomalie magnetiche, rilevate in particolare mediante l'African Magnetic Mapping Project and Etudes Aeromagnetique, tra il 1969-70 (vedi Fig.9). Le anomalie sono alimentate in particolare dallo strato basaltico che difficilmente affiora ma che si rileva bene mediante le indagini aeromagnetiche. Questa particolarità è servita per definire la stratigrafia del vulcano, in modo da delineare l'ampiezza e la profondità effettiva (Anahnah et al., 2009).

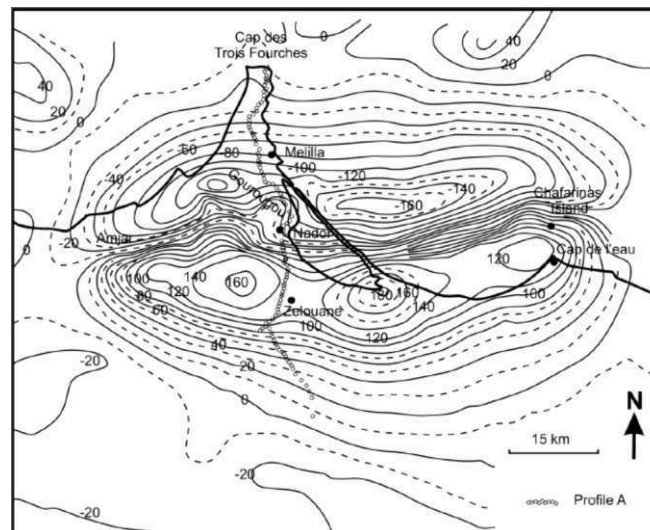


Figura 9 Mappa aeromagnetica dell'are nell'intorno della laguna di Nador, in cui si mettono in evidenza le anomalie magnetiche (Da Anahnah et al., 2009)

Il Gourogou sulle pendici mostra una copertura pedologica frutto del naturale degrado delle rocce dure di origine vulcanica: vi sono quindi lungo le sponde prodotti di

alterazione più o meno teneri e vulnerabili all'erosione. Questi materiali grazie all'azione di lisciviazione da parte degli agenti atmosferici arrivano nella laguna e formano parte del cumulo sedimentario.

Cap des Trois Fourches: La presenza di questo promontorio sul mare è probabilmente uno dei motivi della formazione della laguna stessa, poiché frena la forza delle correnti che si muovono lungo la costa da ovest (Mahjoubi et al., 2003). Si trova a NO della laguna, è lungo 25 km, nel punto più elevato raggiunge un'altezza tra i 250 e i 450 m; è formato da un basamento di rocce eruttive del Miocene (rioliti) e altri strati di trachiti e andesiti derivanti da attività vulcanica più recente (fino al Quaternario).

Il Massiccio del Kbdana: Il massiccio lambisce la parte meridionale della laguna, sviluppandosi trasversalmente ad essa per 50 km di lunghezza: il Kbdana separa la Valle del basso Moulouya dalla Piana del Bou Areg, finendo a nord direttamente nel Mediterraneo (Cap de l'Eau), con un insieme di imponenti falesie. Il punto più alto del massiccio è la vetta Jbel Tamezzoukht (932 m slm). Il Kbdana è costituito da una serie geologica che va dal Giurassico al Miocene Superiore (vedi Fig.10): si tratta per lo più di marne e calcari. Le formazioni Giurassiche sono composte da marne e arenarie, mentre la sommità è ricoperta localmente da formazioni del Pliocene, essenzialmente calcari e marne. Le formazioni primarie più antiche, composte per lo più da scisti grigi, affiorano raramente nella zona a valle (Dakki et al., 2003; Bloundi et al., 2008; Mahjoubi et al., 2003).

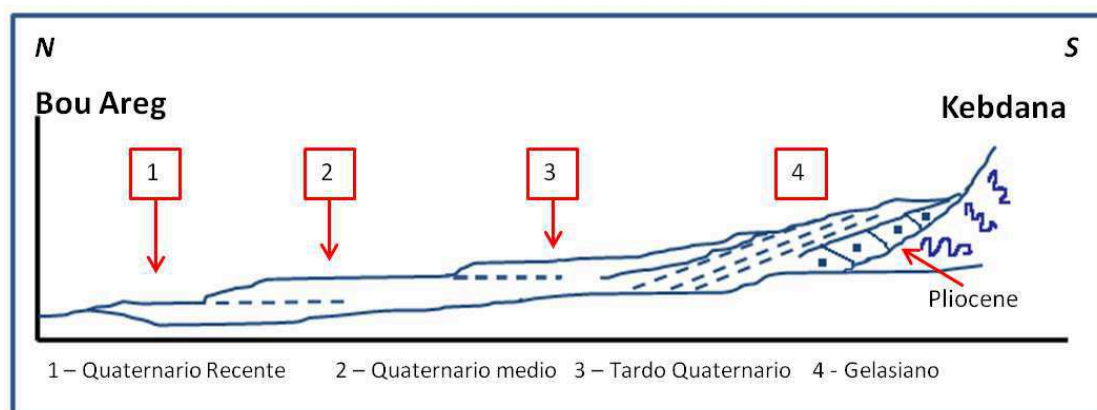


Figura 10 Profilo della zona di contatto tra il Massiccio del Kbdana e la Piana Bou Areg. (da Dakki et al., 2003)

Cap de l'Eau: detto anche Ras El Ma, è la parte finale e più settentrionale del complesso del Kbdana. L'azione delle maree e delle mareggiate aggredisce la roccia, tanto che lungo questo tratto di costa è normale avvistare in mare cospicui affioramenti di materiale litico caduto in mare. A distanza di 3 Km dalla punta di Cap de l'Eau i residui delle rocce sono così evidenti da comporre il complesso insulare di Ja'farine. Anche il Cap de l'Eau concorre con la sua azione mitigante rispetto alle correnti di costa a rendere meno vulnerabile la barriera costiera che delimita la laguna di Nador.

La piana del Bou Areg e del Gareb: Si tratta di un lungo bacino depressivo, dove le propaggini del massiccio del Beni Bou Infrour separano a nord il Bou Areg dal Gareb, più esteso, a sud; il sistema "Bou Areg-Gareb" si sviluppa in senso SE – NO per 80km. Esso si trova a cavallo tra la placca Africana e quella del Mar di Alboran e la subsidenza è conseguente a questo posizionamento (vedi Fig.11).

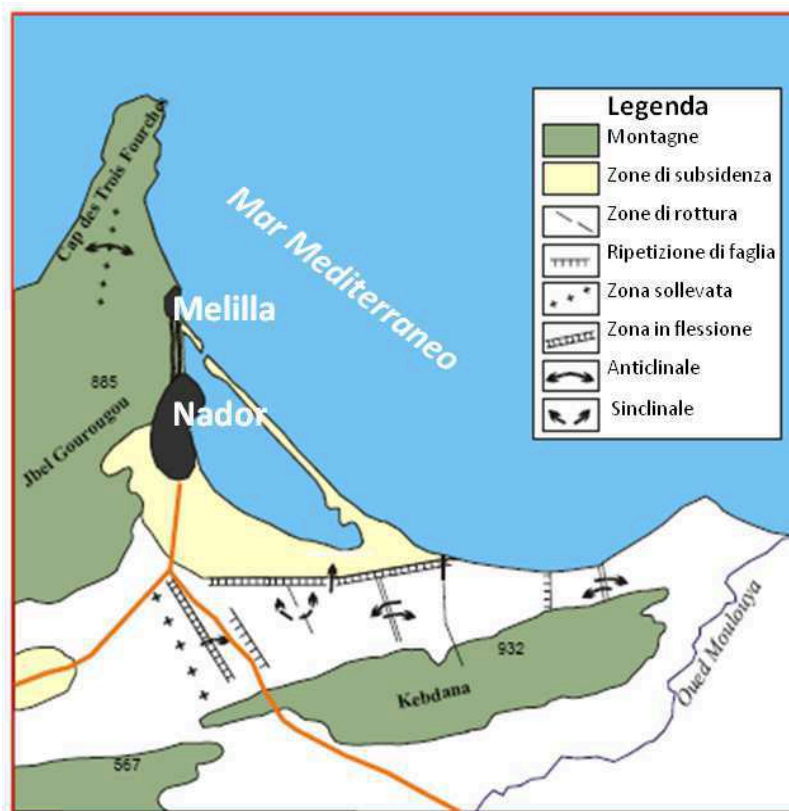


Figura 11 La tettonica attuale che incide sulla Piana del Bou Areg (da Dakki et al., 2003)

La piana è costituita principalmente da materiale di natura alluvionale e colluviale, proveniente dall'erosione dei Massicci adiacenti. La sua storia in realtà comincia con il Neogene, ma la maggioranza della Piana è ricoperta da sedimenti di origine recente (Pliocene-Quaternario).

Massiccio di Beni Bou Ifrouir: Si trova ad Ovest della laguna e si sviluppa in direzione NE-SO e in altezza arriva fino ai 699m slm. E' conosciuto fin dai tempi antichi per la presenza di importanti giacimenti di ferro. Alla base troviamo calcari e marne di origine Giurassica a cui si sovrappongono gli scisti grigi e i sedimenti vulcanici del Cretaceo. Rocce sedimentarie clastiche di carattere post orogenico ricoprono la zona a valle. Il Beni Bou Ifrouir è attraversato da laccoliti e filoni micro-granodioritici associati a mineralizzazioni idrotermali: ciò spiega l'abbondanza di giacimenti di ferro nella zona. L'intorno è caratterizzato dalla presenza di colline di origine vulcanica dove la litologia dominante è quella latitica. Sulle rocce autoctone si forma un substrato di suolo nero-rosso in cui talvolta si trovano croste calcaree (El Rhazi & Hayashi, 2002).

La barriera sabbiosa della laguna: Si tratta del cordone litorale che separa la laguna dal mare: una striscia di terra lunga 25 km, larga da 300m a 1km (nella parte meridionale la barriera costiera è più larga); le dune che compongono la parte superficiale non superano i 20 metri in altezza (Blouin et al., 2008).

La morfologia del cordone litorale è variabile lungo tutta la lunghezza e ciò è particolarmente evidente se si osserva la costa dal tratto della laguna (vedi Fig.12). La parte meridionale è la più antica e risale al Pleistocene: è composta da una facies calcarenitica che riflette un ambiente costiero ad alta energia. Le aree invece più recenti hanno una morfologia che indica come siano qui le maree a dominare la deposizione (Dakki et al., 2003). In alcuni tratti invece si possono riscontrare gli effetti di eventi molto energetici come tempeste improvvise. In generale la barriera costiera mostra una prevalenza di sistemi sedimentari deposizionali.

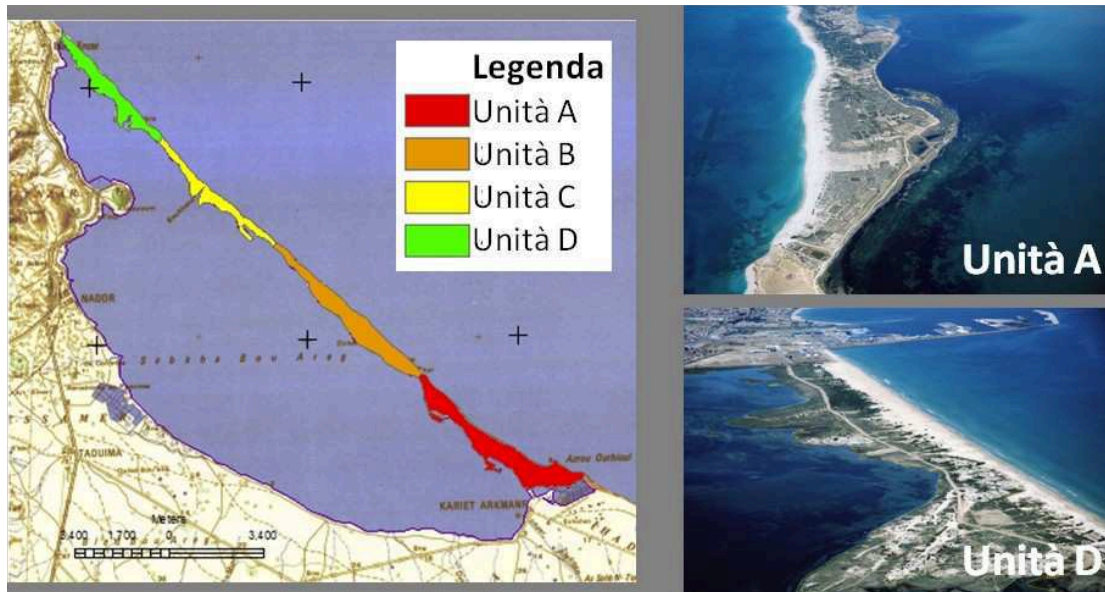


Figura 12 Le diverse unità che compongono il cordone litorale: A calcareniti Pleistocenici; B Barre di calcareniti del Quaternario; C l'area dei canali attuali, con scogliere; D area con numerose paleo-aperture (da Dakki et al., 2003). A destra un dettaglio delle Unità A e D (foto da <http://www.skyscrapercity.com>)

La costa dal lato del Mar Mediterraneo è composta da dune e spiagge ricche in elementi conchigliari: il profilo è differente nell'area centrale, dove si trovano delle scogliere.

I cordoni litorali mostrano un profilo dissipativo nella parte settentrionale, mentre in quella centrale e meridionale è di tipo riflettivo (Raji et al., 2013).

Attualmente la barriera sabbiosa è attraversato da due canali, nella zona centro settentrionale: uno di origine naturale, chiamato Bokkhana; l'altro artificiale e inaugurato recentemente, nel dicembre del 2012, a seguito di un ingente progetto di riqualificazione dell'area chiamato *MarchicaMed*. Nel corso del tempo le aperture sono variate in seguito agli effetti di occlusione dovuti alla sedimentazione e all'azione del mare e delle tempeste. Per la descrizione della successione delle aperture si rimanda ai capitoli successivi.

3.1 Storia geologica della laguna

La laguna di Nador, come detto in precedenza, si trova in una posizione geografica particolare, poiché in quell'area si scontrano due placche continentali, quella Africana e quella del Mare di Alboran, e per questo che nel tempo l'area è stata interessata da fenomeni congiunti di tettonica e vulcanismo che si presentano a continuazione (Hamoumi, 2012):

- a) Formazione dei massicci Kebdana (Giurassico) e Beni Bou Ifrou (Giurassico e Cretaceo)
- b) La subsidenza della piana del Bou Areg
- c) Successione di episodi trasgressivi e regressivi
- d) Eruzioni vulcaniche, in vari periodi, durante il tardo Miocene- Pliocene Inferiore e durante il Quaternario

3.1.1 Genesi della laguna

Nello specifico si distinguono differenti processi che si sono succeduti nel tempo, partendo dal Periodo Giurassico sino al periodo attuale (vedi Fig.13).

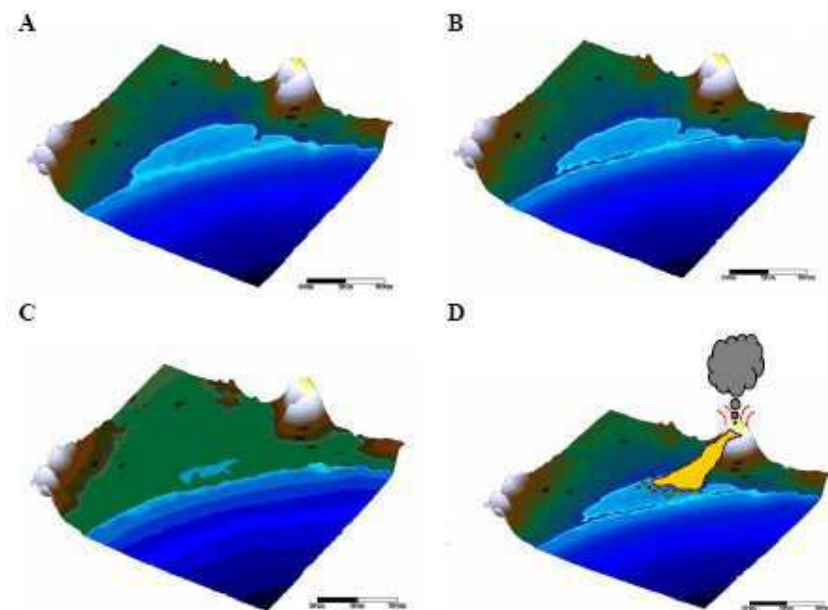


Figura 13 Possibile ricostruzione della genesi della laguna. Da Hamoumi et al., (2011).

Giurassico: si formano i massicci del Kebdana e Beni Bou Ifrou.

Miocene medio: la placca Africana si sovrappone lateralmente a quella di Alboran producendo un ispessimento della crosta al livello della piana del Bou Areg seguita da una subsidenza (subduzione di tipo A). Durante la trasgressione marina del Tortoniano la pianura è stata ricoperta da depositi costituiti da marne verdi.

Messiniano inferiore: la collisione delle due placche ha inoltre prodotto una cospicua attività vulcanica che ha generato il massiccio del Gourogu. Il sollevamento orogenico che ne è conseguito ha fatto regredire cospicuamente e definitivamente la linea di costa. Le lave del Gourogu si sono depositate anche sulla piana del Bou Areg: questo deposito aggiunto a quello delle marne grigie tardo Messiniane, hanno causato fenomeni di subsidenza localizzata.

Pliocene: troviamo importanti depositi legati al periodo regressivo; probabilmente anche lo strato più antico del cordone lagunare è un risultato di queste deposizioni.

Quaternario: nell'area continentale si intensificano le deposizioni a carattere conglomeratico, le quali gravitano sulla piana contribuendo alla manifestazione di una nuova subsidenza, seguita da cicli trasgressivi e regressivi che hanno dato origine alla laguna.

3.1.2 Genesi delle aperture della barriera litorale

Come detto in precedenza l'area della barriera litorale nel tempo ha subito numerose mutazioni. La sua morfologia porta indelebili i segni di questi fenomeni di deposizione ed erosione.

Attualmente la barriera della laguna di Nador è attraversata da due canali: il più vecchio è chiamato Bokhana, un'apertura naturale che si è creata in seguito ad una tempesta marina nel 1979 e che con il tempo è stato regimentato da barriere artificiali che ne seguono il naturale profilo, al fine di evitare l'interramento e migliorare il flusso delle acque (El Madani et al., 2011); si tratta di un canale lungo 100 m e profondo 3 m e due rinforzi da 1450 e 1350m; la portata media è di 86 m³/h (Abouhala, 1991; Zine et al., 1998; Flower et al., 2009; El Madani et al., 2011; Loulaya & Hamoumi, 2011).

L'altro è un canale costruito tra la fine del 2011 e l'autunno del 2012. Il nuovo canale ha avuto un iter travagliato ed è stato costruito grazie ai finanziamenti del progetto

MarchicaMed (www.marchicamed.com). Il progetto ha origine negli anni '90, dove si prevedeva di creare due nuove aperture all'altezza di Béni Ensar e Kariat, con l'obiettivo di salvaguardare l'ambiente lagunare (Abhouala, 1991).

Attualmente è limitato da una estesa barriera cementata lunga 1350 m nella sponda Ovest e 1450 m in quella Est. Il progetto si pone due obiettivi principali: il primo è quello di riqualificare l'area da un punto di vista turistico, con la costruzione in contemporanea di nuove località e infrastrutture lungo tutto il profilo costiero lagunare, e la città prossimale al nuovo canale sarà la Cité des Deux Mers; il secondo obiettivo è di minimizzare il problema dell'eutrofizzazione all'interno della laguna sperando nella capacità ossigenativa delle nuove e più copiose correnti marine che entreranno dal grande canale. Attualmente non esistono studi che verifichino gli effetti derivanti da questa nuova struttura sulla quantità e qualità dei sedimenti e delle acque lagunari, però si sono già fatti studi sul livello di rischio dei nuovi abitati, in particolare di quelli posti lungo il profilo del cordone litorale. Lo studio condotto da Raji et al. (2013), attraverso l'uso del coastal vulnerability Index-based method, modellizzato con l'uso di software GIS, ha rilevato l'alto livello di rischio da inondazione in particolare nell'area vicina al nuovo Canale (vedi Fig.14).

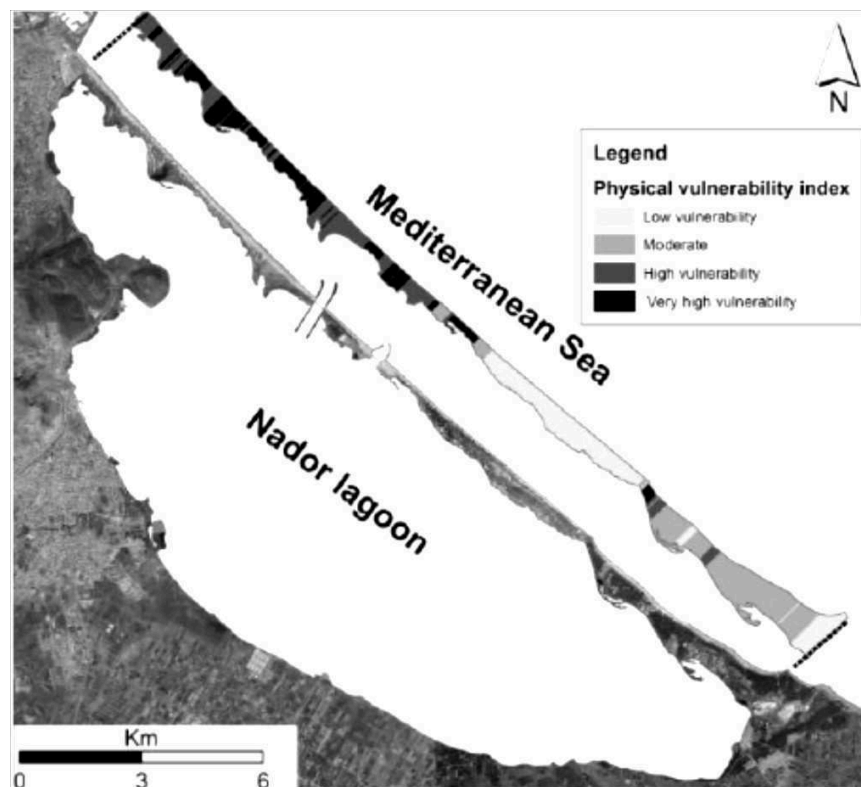


Figura 14 Mappa dei vulnerabilità della barriera sabbiosa della laguna di Nador (da Raji et al., 2013)

La vulnerabilità qui esplicita in maniera matematica è comunque una componente conosciuta anche dalla popolazione locale, visto che le aperture si sono occluse e riaperte anche in tempi recenti. La morfologia del profilo di costa dalla parte lagunare, nonché il profilo del fondale, ricco di residui di washover fans descrive efficacemente un passato turbolento (vedi Fig.15, Guelorget et al., 1987). Il nuovo canale ad esempio è stato posto su un tratto in cui in tempi passati già ve ne scorreva un altro.

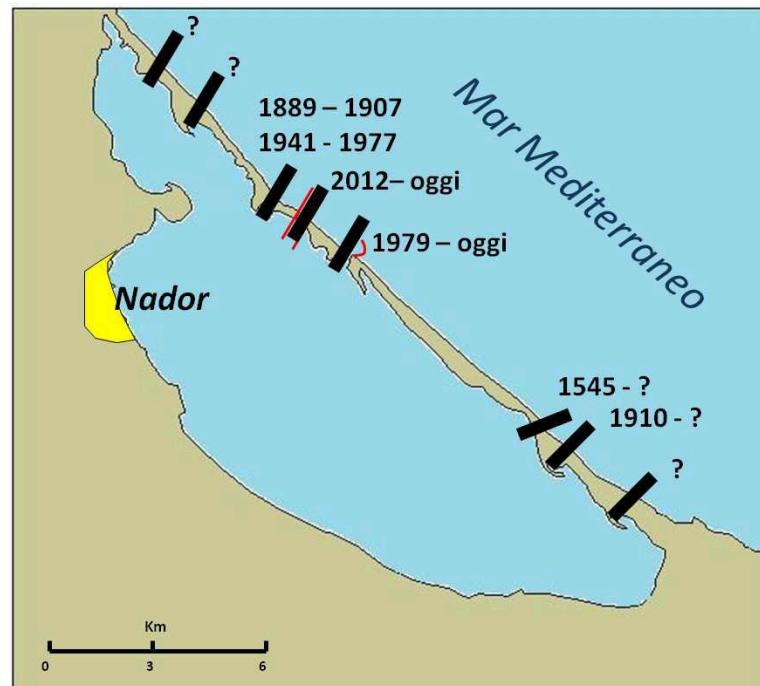


Figura 15 Schematizzazione della posizione delle antiche aperture e di quelle attuali (modificato da Guelorget et al., 1987)

Come già espresso in precedenza, la dinamica di deposizione dei sedimenti marini comporta una naturale tendenza alla cicatrizzazione delle aperture. Nel 1977 una forte tempesta accumula così tanto sedimento da costruire quella che allora era l'unica apertura e fino al 1979, anno in cui un'altra tempesta riapre un nuovo varco, la laguna resta completamente separata dal mare. La gente del luogo ricorda che il livello delle acque lagunari è velocemente sceso di svariati cm: l'abbassamento di soli 10 cm comporta per una laguna come questa la perdita di circa 11,5 milioni di m³ d'acqua. Nel periodo in cui la laguna rimane chiusa tende a sovrasalare, ad esempio tra il 1907 e il 1910, quando rimase chiusa, la salinità era di 83 mg/l, e l'acqua si può abbassare di una media di 0.7m per anno (Abouhala, 1991). Quando un evento naturale, in seguito a questo abbassamento, riesce a rompere la barriera litorale, nella laguna si riversa velocemente un'ingente massa d'acqua che riesce ad allargare velocemente l'apertura stessa e porta con se grandi masse di sedimenti marini.

Questo processo di apertura e chiusura si è verificato spesso in passato. La laguna di Nador viene comunemente chiamata anche Sebkhha Bou Areg: nella lingua araba Sebkhha indica una piana asciutta sporadicamente inondabile, dove la presenza di sale rende difficile la crescita della vegetazione. Si presume quindi che l'etimologia porti con sé la storia geologica e che nel periodo della conquista araba la laguna fosse completamente chiusa al mare e asciutta (Guelorget et al., 1987).

3.2 Uso del suolo e realtà economiche

L'area di studio, come già detto in precedenza (vedi cap.2) ha visto un forte incremento nella popolazione e nell'urbanizzazione nell'intorno del bacino, in particolare a partire dagli anni 50-60 dello scorso secolo. Si stima che la popolazione complessiva che vive nel bacino lagunare sia di 450 000 abitanti, di cui il 53% vive nelle aree urbane (Raji et al., 2013). Le più importanti città sono: Nador con 132 00 abitanti, Beni Enzar 31 000 e Kariat 18 000 (Bloundi et al., 2008).

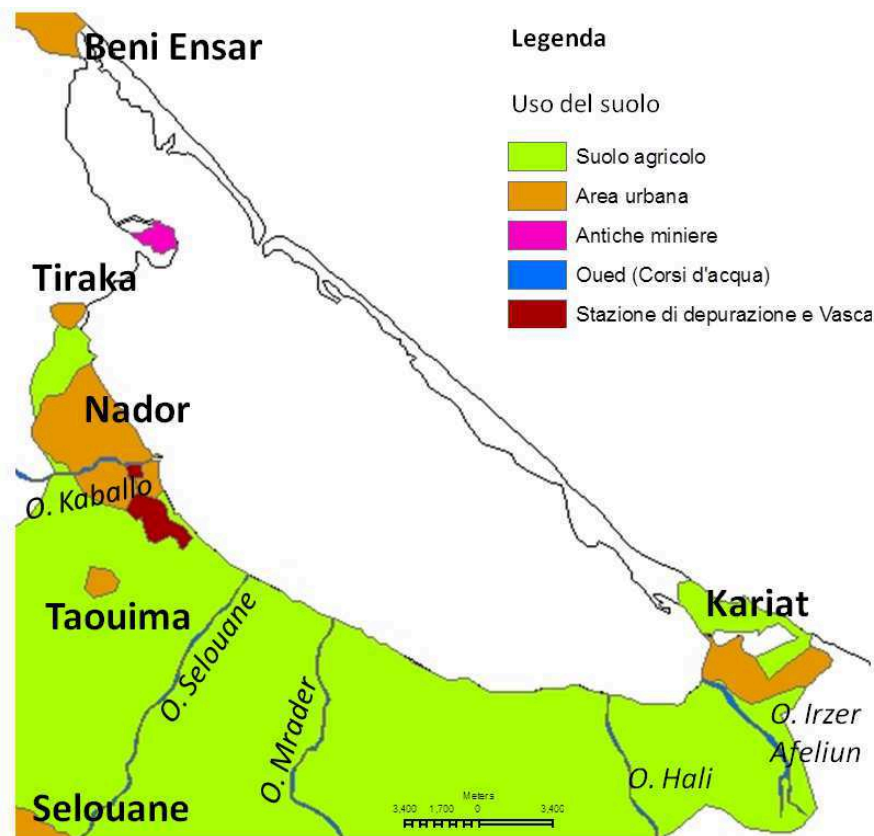


Figura 16 Mappa di uso del suolo dove vengono posti in evidenza le aree delle antiche miniere e la localizzazione della stazione di depurazione.

La pesca è una delle attività più antiche della laguna (Kada et al.,2010), per taluni ancora la più importante occupazione dell'area (Dakki et al., 2003; Najih & Ramdani, 2010)., ma l'odierna realtà economica vede gli abitanti impegnati in impieghi di varia entità, dove l'agricoltura è diventata tra le più importanti e impattanti (Gonzales et al., 2007).

Secondo uno studio condotto sull'uso del suolo nel bacino di Nador nell'anno 2000 (Rifai, 2007), le aree sono così suddivise (Tab.1):

| Uso suolo | Ettari | % sul totale |
|----------------------|---------------|---------------------|
| Agricoltura | 87 642.6 | 56.5 |
| Suolo nudo | 37 472.7 | 24.16 |
| Macchia mediterranea | 21 622.4 | 13.94 |
| Foreste | 7 257.41 | 4,68 |
| Edificato | 1 115.1 | 0.72 |

Tabella 1 Partizione delle aree rispetto all'uso del suolo, da Rifai (2007).

L'agricoltura occupa la maggior parte del suolo del bacino di Nador, estendendosi in particolare lungo la piana del Bou Areg e lambendo il perimetro dei rilievi montuosi; essa è la più importante attività socio economica, la quale occupa il 60% della popolazione (Gonzales et al., 2007). Le colture principali sono: cereali, barbabietola da zucchero e legumi, coltura per foraggio e orticola, oltre a colture minori ma comunque importanti come agrumi, olivi e vigne.

L'agricoltura che viene praticata è di tipo intensivo, con un consumo annuo di circa 35 000 000 m³ di acqua. L'impatto sull'ambiente è dovuto in primo luogo all'uso di massicce dosi di fitosanitari, compresi erbicidi, fungicidi, e fertilizzanti, che portano azoto e fosfati in laguna, anche se tale problema si acuisce in alcuni periodi dell'anno: infatti il canale di irrigazione che porta l'acqua verso la laguna funziona solo in certi periodi d'inverno, in corrispondenza dei periodi piovosi, mentre è secco durante l'estate (Abouhala, 1991; Dakki et al.,2003).



Figura 17 Visione aerea della laguna dalla spiaggia di Kariat: è visibile in lontananza l'intensa parcellizzazione agricola praticata sulla Piana del Bou Areg. (foto da <http://www.skyscrapercity.com>)

Il suolo nudo è un quarto della superficie: si tratta dei terreni non utilizzati per l'agricoltura, poveri in vegetazione, i terreni rocciosi, le falesie e l'area delle dune sabbiose. L'estensione di tale area da un'idea su quello che è lo stato di degrado del bacino (Rifai, 2007). L'aumento di suolo nudo è uno dei motivi che hanno portato ad un aumento dell'erosione delle coste della laguna: il ruscellamento causato da piogge, che qui sono spesso a carattere temporalesco, su suoli privi di vegetazioni, intensifica il fenomeno del dilavamento e la sedimentazione in laguna di detriti provenienti dalla costa continentale (Flower et al., 2009).

La macchia mediterranea, costituita essenzialmente da piante del genere Lentisco e Alfa, si estende lungo la bordura continentale o sulle dune della barriera costiera (Rifai, 2007). Queste aree sono molto preziose per la biodiversità e la qualità degli ambienti naturali protetti dalle convenzioni SIBE e Ramsar.



Figura 18 la macchia mediterranea della laguna di Nador lungo le sponde settentrionali, gennaio 2013.

Le foreste sono solo il 4.68%, e sono essenzialmente costituite da sempreverdi resinosi, come pini marittimi, e arbusti fogliosi come gli Eucalipto e le Acacie. La maggioranza delle foreste si estende lungo le pendici e le sommità dei rilievi montuosi. Come nel caso precedente, le foreste giocano un ruolo importante nella salvaguardia degli ambienti naturali. Foreste e macchia mediterranea sono attualmente minacciati dal Progetto MarChicaMed, che vuole urbanizzare parte di queste aree, edificando nuove realtà abitative a uso turistico (vedi Fig.19).



Figura 19 A il Monte Attaloyoum ora; B Il progetto residenziale. (da www.marchicamed.com).

La zona edificata, dedicata alle realtà urbane e al settore industriale, si concentra soprattutto a Nador e le città di Kariat, Beni Ensar e, sulla piana del Bou Areg, la città di Selouane. Nador ha un'importante e vicina area dedicata all'industria metallurgica ma è Selouane il più ricco centro industriale, in particolare per il trattamento del materiale estratto dalle vicine miniere, che la vede come la più importante realtà di lavorazione dell'acciaio e del ferro di tutto il Marocco, oltre alle industrie dell'indotto come quelle per il materiale da costruzione e il settore della produzione tessile (Dakki et al., 2003; Gonzales et al., 2007). Nonostante le preoccupazioni legate al settore industriale nel bacino della laguna di Nador esso è forse quello che meno influisce sull'inquinamento ambientale: molte aziende, come il complesso siderurgico di SONA-SID, sono dotate di una propria stazione di depurazione o di un pozzetto per il trattamento dei reflui. Sono invece le abitazioni a creare i maggiori disagi con i propri reflui domestici: la città di Nador è dotata di una stazione di trattamento delle acque, composta da un'unità di trattamento biologico classico e da un bacino di trattamento terziario di una superficie di 17 ettari per un volume max di 240 000 m³; nonostante le dimensioni, tale struttura non è sufficiente per coprire il fabbisogno di tutta la popolazione, e altre realtà urbane come Kariat sono totalmente prive di sistemi di depurazione delle acque cittadine (Abouhala, 1991), le quali vengono scaricate direttamente in laguna (vedi Fig.20).



Figura 20 Uno dei canali di scarico diretti verso la laguna, zona di Beni Ensar, Gennaio 2013.

All'interno della laguna e nel Mediterraneo i pescatori della zona praticano un pesca di tipo artigianale. La flotta è composta da circa 200 imbarcazioni, oggi tutte motorizzate (Gonzales et al., 2007). Lungo le sponde vi sono diversi piccoli porti, spesso realtà private e create riarrangiando materiali di scarto (vedi Fig.21). La pesca dei Bivalvi viene fatta a piedi da una dozzina di pescatori, specialmente nella zona di Chaâla. Attorno alla realtà della pesca si è sviluppato con il tempo una certa attività industriale sia per l'allevamento che il trattamento del pescato. L'acquacoltura di tipo moderno prende il via quando nel 1986 si è creata la Società Marocchina di Ostricoltura (MAROST), le cui strutture sono fissate nella baia dell'Attaloyoum: la società ha un'importante attività, tanto che nel 1990 ha prodotto e venduto un totale di 500 ton di pescato. All'inizio l'azienda si occupava di varie tipologie ittiche, dai pesci (orate e spigola), ai molluschi (ostriche) e fino ai crostacei (gamberi giapponesi); attualmente l'azienda si limita alla piscicoltura (Dakki et al., 2003).

E' da ricordare però che la maggioranza del pescato, sia esso da pesca artigianale o da allevamento, non rimane nelle piazze locali ma viene venduto in mercati esteri. Per questo la qualità dell'ambiente lagunare è importante non solo per i locali ma anche per la salute dei consumatori stranieri (Abouhala, 1991).



Figura 21 Piccoli porticcioli di pescatori locali, sullo sfondo un'imbarcazione tipica e il Promontorio dell'Attaloyoum, gennaio 2013.

Altro settore importante è il turismo, con le attrazioni naturali (montagne, laguna, spiagge) e una SPA Resort a Kariat, e la cultura locale, con la pittura delle mani e la gastronomia (Gonzales et al., 2007). Lo sviluppo di tale settore è uno degli obiettivi del Progetto MarChicaMed, che entro il 2035 prevede la costruzione di ben 7 nuove realtà turistiche (Raji et al., 2013).

3.3 Il clima: temperature, precipitazioni e venti

Per l'inquadramento climatico dell'area si sono presi in considerazione i dati degli ultimi 11 anni, facendo riferimento ai dati forniti dal sito www.tutempo.net, riguardanti la città di Nador. Per questo motivo è stato impossibile ricostruire la sequenza per gli anni anteriori, in quanto i dati forniti sono frammentari. Dall'analisi statistica si ottiene comunque una caratterizzazione termo pluviometrica credibile.

Clima termico medio (2000-2011)

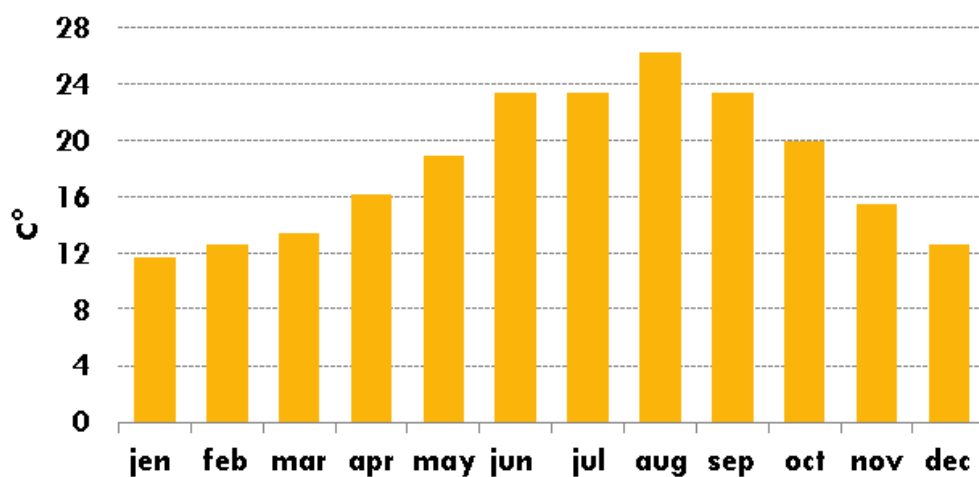


Tabella 2 Clima termico medio (2000 - 2011)

Clima termico medio annuo (2000-2011)

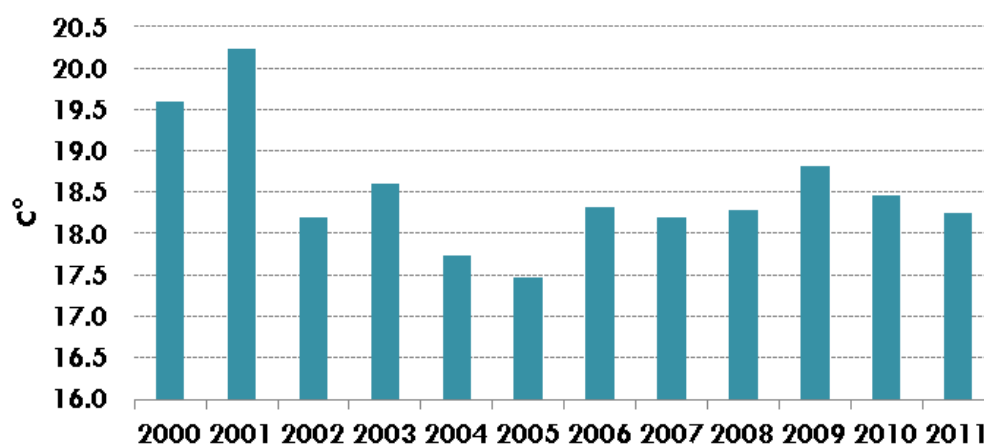


Tabella 3 Clima termico medio annuo (2000 - 2011)

La serie mostra che l'inizio del secolo è stato caratterizzato da un clima più torrido (vedi Tab.3). Da letteratura si sa che la laguna è caratterizzata da irregolarità intrannuali, tipiche dei climi mediterranei, con serie di anni umidi seguiti a serie di anni secchi (Dakki et al., 2003), perciò i dati relativi alla decade presa in esame sono da considerare utili solo per esaminare strettamente il momento attuale delle condizioni climatiche.

Il regime termico, come già definito da numerosi autori, è tipico di un'area del Mediterraneo meridionale, con temperature miti. Da notare la stabilità delle temperature (vedi Tab. 2) durante i mesi estivi (Jun, Jul, Sep).

L'abbassamento della temperatura invece coincide con gli eventi imperturbati invernali (ciclogenese mediterranei), tanto che numerosi autori distinguono solo due stagionalità nell'arco dell'anno; una stagione umida invernale e una secca estiva (Geolourget et al., 1987; Abouhala, 1991; El Madani et al., 2011). Nel caso degli anni dal 2000 al 2011 (vedi Tab.4 e Tab.5) il periodo umido corrisponde con i mesi che vanno da Ottobre ad Aprile, con picchi più elevati nei mesi di Ottobre e Novembre (media di 60-65 mm al mese), mentre i mesi più secchi sono quelli da Maggio ad Agosto, con picchi negativi nei mesi di Giugno e Luglio (nemmeno 10 mm di media mensile).

Regime pluviometrico (2000-2011)

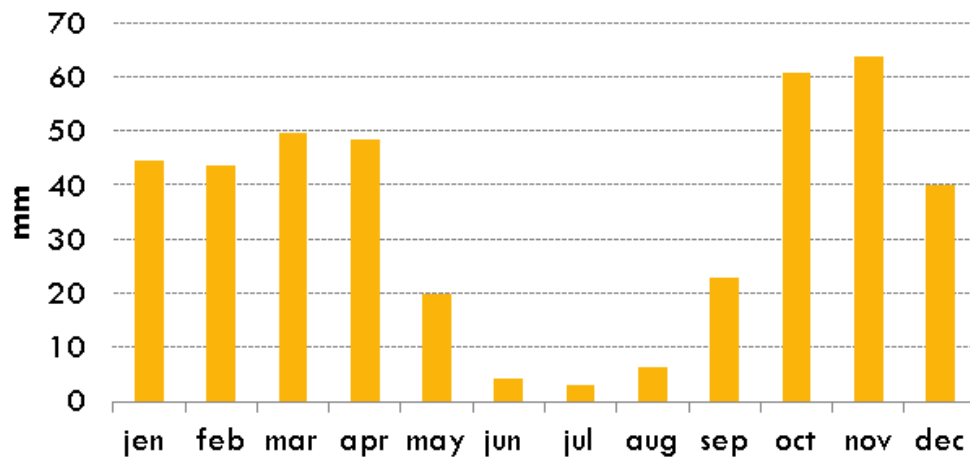


Tabella 4 Regime pluviometrico (2000 - 2011)

Intensità media giornaliera (2000-2011)

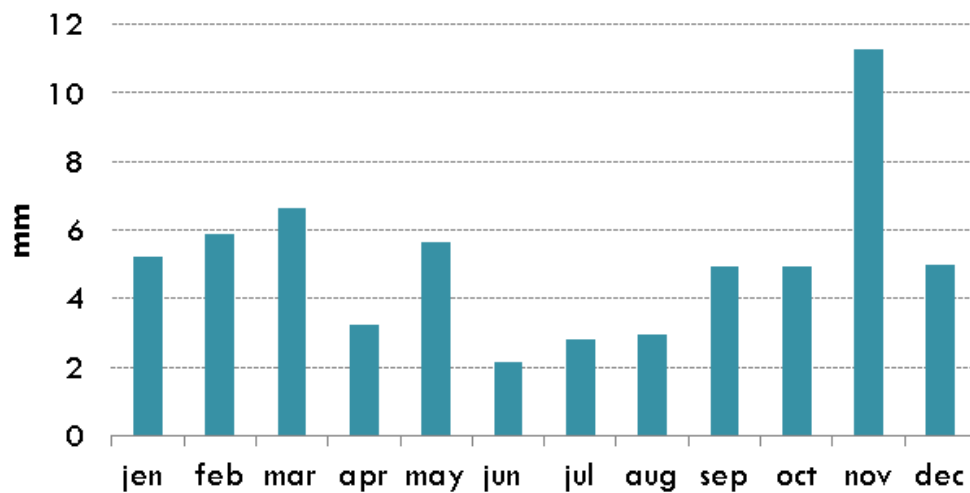


Tabella 5 Intensità media giornaliera (2000 - 2011)

Il regime pluviometrico è simile ad aree mediterranee tirreniche: estati aride e inverni piovosi.

I rovesci sono irregolari e spesso a carattere temporalesco: la bassa permeabilità del suolo e la nudità dei versanti del bacino provoca ruscellamenti importanti che si dirigono verso la laguna di Nador, aumentando i problemi legati all'erosione delle coste

(Abouhala, 1991). I rovesci sono così intensi e che quando piove le città di Nador e Beni Ensar sono spesso afflitte da problemi di inondazione (Khattabi et al., 2007). La neve è assente e ogni tanto grandina (Dakki et al., 2003).

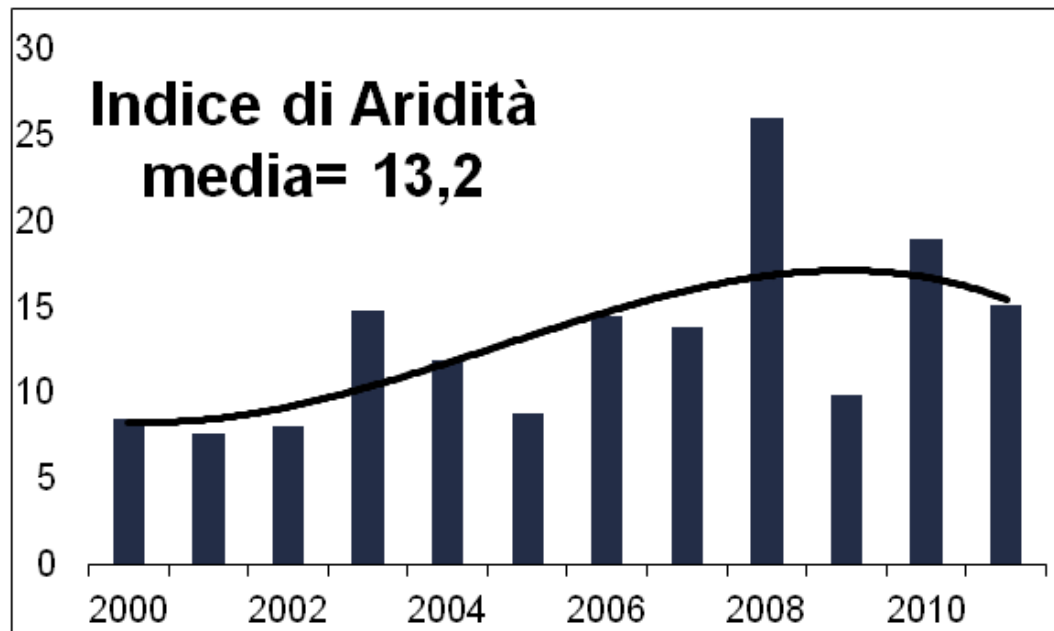


Tabella 6 Indice di aridità in corrispondenza degli anni dal 2000 al 2011.

Secondo l'indice di aridità (*De Martonne-1941*) l'area cade nel clima semiarido (Quan et al., 2013), secondo l'espressione [1]:

$$[1] \quad Ia = \frac{P}{T + 10}$$

Dove

P = precipitazione media annua in mm

T = temperatura media annua in °C

se:

$Ia < 5$ = clima arido

$Ia \ 5 - 15$ = clima semiarido

$Ia \ 15-20$ = clima semi umido

I_a 20–30 = clima umido

$I_a > 30$ = clima perumido

Le scarse variazioni intrannuali dipendono dalla posizione geografica dell'area di studio che risente in maniera netta del potere termoregolatore marino. Il clima secco infatti è compensato da una certa umidità dell'aria, dovuta alla vicinanza del mare (aria 50-80% umidità) e all'estensione della superficie della laguna (Dakki et al., 2003).

Come le temperature e la pluviometria, anche i venti si caratterizzano per una frequenza su due stagionalità. A Nador i venti dominanti sono (in termini di frequenze relative) quelli che soffiano da ENE e da OSO (Abouhala, 1991; Majhoubi et al., 2003; Hilmi et al., 2007).

Gli OSO sono i più frequenti in inverno, con una frequenza del 24.8% sull'insieme delle osservazioni annuali e la loro intensità varia tra 3.8 e 4.4 ms⁻¹. Gli ESE sono quelli estivi, ma sono meno violenti di quelli dell'Ovest (17.1% per i venti di direzioni NNE con intensità medie 4.6 – 5.3 m s⁻¹ e 15% per quelli di direzione E con intensità 4.6 – 6.2 m s⁻¹).

C'è comunque un continuo scambio tra i venti interni alla laguna e quelli marini, tanto che anche in estate la calura viene abbassata da una leggera brezza (Geolourget et al., 1987).

Nel Mediterraneo i venti giocano un ruolo importante per diversi fattori: la direzione e la forza possono influenzare la formazione e dinamica delle dune, la configurazione delle spiagge e delle falesie, e anche e favorire l'ingresso dei sedimenti dalle zone estuarie (Dakki et al., 2003).

3.4 La qualità delle acque

L'obiettivo della tesi è caratterizzare i sedimenti della laguna per poter individuare attraverso tecniche petrografiche e geochimiche la qualità del comparto terrigeno. Tuttavia, anche se non è stato effettuato un campionamento delle acque è importante descriverne le condizioni e la loro qualità. Per tale descrizione si farà riferimento ai dati disponibili in letteratura.

Le acque all'interno della laguna sono caratterizzate da una certa omogeneità, sia laterale che nella colonna d'acqua, e la variazione dei vari parametri.

La **temperatura** delle acque è legata a quella dell'aria, e la stratificazione nella colonna d'acqua è debole (El Madani et al., 2011); comunque la zona centrale, più profonda, ha minori variazioni di temperatura rispetto al resto della laguna. Prendendo in esame le temperature medie, le acque sono più fredde in Gennaio con 11.8° C e più calde in Agosto con 27.5°C. La dispersione del calore dopo l'inverno è più lenta del raffreddamento post-estivo, conformemente allo schema classico delle lagune perimediterranee (Dakki et al., 2003, Daoudi et al., 2005). Rispetto alle temperature dal mare la laguna ha poche variazioni: la temperatura media minima del Mediterraneo lungo la spiaggia è di 14.6 °C, mentre la massima è di 24.6°C. Questo sta a confermare come l'acqua della laguna sia in diretto contatto con quella marina (Zine et al., 1998)

Il valore medio del **pH** è 8 (Abouhala et al., 1995; Gonzales et al., 2007) e le variazioni nella colonna d'acqua sono minime. Il pH tende ad accrescere nelle aree confinate alle due estremità meridionali e settentrionali (Ruiz et al., 2006), dove si suppone vi siano maggiori problemi di inquinamento, ma non in modo significativo (Zine et al., 1998). Per taluni tale omogeneità sta ad indicare che il pH non è un fattore di condizionamento nella mobilità degli inquinanti, come i metalli pesanti. I valori delle acque della laguna non sono molto distanti da quelli marini, confermando una contiguità tra i due corpi idrici (pH del mare lungo la spiaggia, 8.28).

Il pH è influenzato dalla stagionalità: le acque continentali e le precipitazioni durante il periodo umido fanno abbassare il pH (diluizione), che raggiunge valori minimi tra 7.4 – 8.26 (acque alcaline), mentre durante il periodo secco il pH è influenzato dalla penetrazione delle acque marine e delle acque reflue, tanto che nei periodi più secchi può raggiungere lungo la riva continentale valori di 9.03 (Dakki et al., 2003).

La **salinità** delle acque intra-lagunari è stabile durante il corso dell'anno, ma è affetta da variazioni rispetto all'area della laguna indagata (Geolourget et al., 1987; Zine et al., 1998; Abouhala et al., 1995; Daoudi et al., 2005; Ruiz et al., 2006; El Madani et al., 2011). La salinità media è compresa tra 37 mg/l e 42,7 mg/l, leggermente superiore a quella del mare, compresa tra 36 mg/l e 36.5 mg/l. Nelle zone vicine alle foci dei fiumi la salinità diminuisce leggermente grazie all'apporto delle acque continentali (anche se la falda freatica attualmente è afflitta da un innalzamento della salinità), mentre le aree con salinità maggiore sono quelle confinate alle due estremità, dove è meno intensa l'influenza marina; vicino alle aperture lungo il cordone litorale e all'interno della laguna la salinità si assesta su valori più vicini a quelli marini. Come detto in precedenza non vi

è una forte differenza nella salinità nel corso dell'anno, ma comunque si possono individuare due stagionalità: da Maggio ad Agosto con massimi nell'ordine di 39.8 mg/l, e da Settembre ad Aprile con minimi di 37.4 mg/l. La salinità varia anche in base alle annate secche (nel 1993, media di 44.0 mg/l) e le annate umide (nel 1976, media di 35.0 mg/l) (Dakki et al., 2003). Negli ultimi anni la salinità è aumentata a causa della difficoltà delle acque ad entrare dall'apertura lungo la barriera costiera e per un abbassamento generale nell'apporto di acque dolci.

Il sistema idrico che incide nel ricambio delle acque della laguna è controllata dai seguenti apporti (Bloundi et al., 2009):

- Le acque del Mediterraneo che arrivano attraverso le aperture lungo il cordone litorale,
- I fiumi, che in lingua locali vengono chiamati Oued
- I reflui di origine antropica
- Le acque derivanti dal trattamento agricolo
- Le acque sotterranee

Il bilancio idrico invece risponde a tre fenomeni (Abouhala, 1991):

- Il ricambio con le acque del mare (1.500 milioni di m³/anno),
- L'evaporazione (230 milioni m³/anno)
- Ruscellamento proveniente dal versante del bacino (230 – 500 milioni m³/anno)

Il legame tra la laguna e il mare è vitale, ma negli ultimi anni il ricambio si è rilevato insufficiente per far fronte alle nuove problematiche legate alla pressione antropica crescente, tanto che gli 80 giorni che occorrono per il ricambio delle acque della laguna con quelle marine risultano insufficienti (El Madani et al., 2011). Le zone in cui il ricambio risulta più difficile sono quelle alle estremità meridionale e settentrionale, rendendo più esposte a problemi di inquinamento queste zone (Ruiz et al., 2006).

Per ovviare a tale situazione nel 1993 la Bojana, ovvero l'apertura naturale lungo la barriera costiera, viene dragata, allargata e regimentata per migliorare l'afflusso delle acque (Flower et al., 2009, El Madani et al., 2011) e nel 2012 si inaugura una nuova apertura artificiale, connessa al progetto MarChicaMed (Loulaya & Hamoumi, 2011; vedi cap.4.2)

Le acque dolci del settore continentale provengono da sistemi acquiferi attivi solo durante le stagioni umide (Dakki et al., 2003): i versanti sono caratterizzati da un lieve ruscellamento molto irregolare; i canali di irrigazione; i principali sistemi di scorrimento detti Oued (Abouhala, 1991). Il corso d'acqua più importante è l'O. Selouanae, l'unico attivo durante tutto l'anno (Majhoubi et al., 2003; Daoudi et al., 2005; Ruiz et al., 2006), il quale attraversa la piana del Bou Areg portando in laguna i reflui urbani e industriali della città omonima. Altri corsi importanti sono come O. Caballo, O. Afelioune e O. Akhandouk che fungono da maggiori canali di trasporto per i reflui dell'entroterra verso la laguna (El Madani et al., 2011).

3.5 Le correnti interne ed esterne.

L'idrodinamica esterna dipende dal regime tidale, flusso delle correnti litorali e dalle onde predominanti. Il regime tidale lungo la spiaggia mediterranea è di tipo microtidale e semidiurno e le energie delle onde sono amplificate dalle tempeste e dai venti. Il regime idrodinamico delle spiagge è dominato dalle onde causate dalle tempeste che si gonfiano da NE verso ENE e da O verso NO, le quali si possono spingere fino a 5 m in altezza. La maggioranza delle onde è comunque sotto 1m (Geolourget et al., 1987 ; Dakki et al., 2003; Ruiz et al., 2006 ; Flower et al., 2009). Le correnti litorali mostrano variabilità stagionale e prevale la direzione SE-NO. La direzione SO-NO è meno frequente e ed è più intensa nella parte meridionale della barriera (Raji et al., 2013).

Il flusso delle correnti di deriva costiere ha origine dal vortice anticiclonico West Alboran Gyre, il quale è il maggior responsabile nella distribuzione dei sedimenti della spiaggia.

L'idrodinamica interna è legata a tre componenti (Ruiz et al., 2006):

- La componente dominante è la corrente che entra dal mare attraverso le aperture lungo la barriera;
- Gli acquiferi, in particolare l'O. Selouane, e gli input dei fiumi intermittenti (circa 10) che periodicamente portano acqua alla laguna.
- I venti (Hilmi et al., 2007).

I diversi flussi seguono la corrente interna che, partendo dalla Bojana, gira con un movimento attorno alle coste, creando gli spit interni, verso Kariat Arkmane e, per volgere poi verso nord (Geolourget et al., 1987 ; Dakki et al., 2003 ; Majhoubi et al., 2003 ; Ruiz et al., 2006). Durante questo movimento le acque che si inabissano lungo la

barriera riemergono in superficie (up welling) lungo la riva continentale (vedi Fig.22). Le masse d'acqua che penetrano dalle aperture lungo la barriera costiera e seguono il senso degli spit delimitano una massa d'acqua centrale più stabile e con movimenti molto più lenti. All'altezza del Promontorio dell'Attaloyoum a causa della morfologia della linea di costa, la corrente fa un movimento rotatorio, creando una sorta di "ombelico" nell'area prospiciente alla città di Nador.

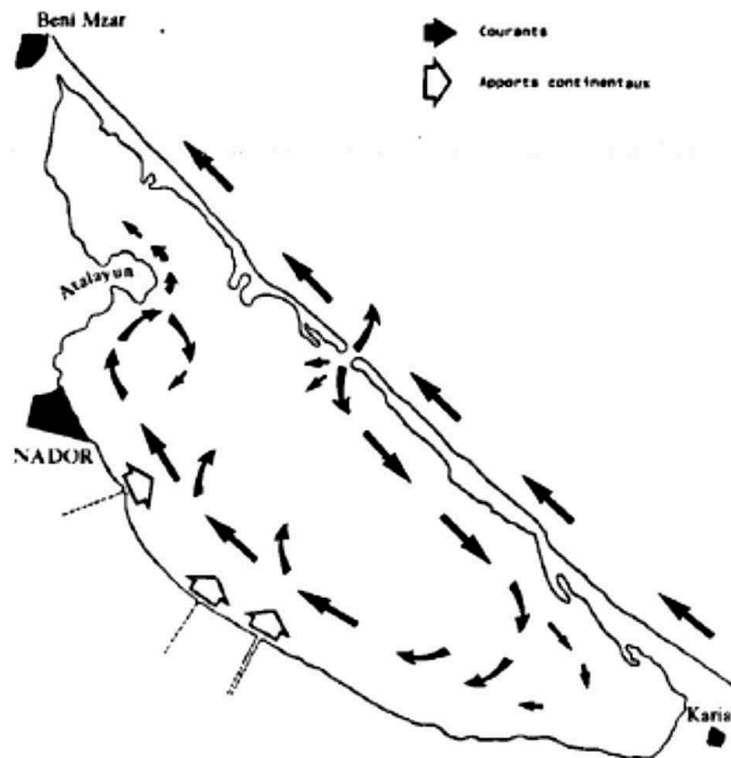


Figura 22 Le correnti lagunari, (da Gueolorget et al., 1987).

4. Obbiettivo della ricerca: Materiali e Metodi

Lo scopo principale della ricerca è delineare le caratteristiche geochemiche di campioni terrigeno-sedimentari raccolti nella laguna di Nador in Marocco, utilizzando diverse tipologie analitiche che siano funzionali per una strategia di lavoro in cui la difficoltà principale è la scarsità nel materiale da analisi: infatti i campioni raccolti dal team del Prof. Nachite Driss, professore alla Faculté Polydisciplinaire de Larache (Marocco), nel 2010 sono stati spediti al Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra di Ferrara in piccoli sacchetti di polietilene da 25 grammi ciascuno. Tale quantità ha reso difficoltosa la definizione di alcuni parametri, quali ad esempio la granulometria, per questo sono state eseguite un numero limitato di analisi. Con questo iter si è riusciti però a definire molte caratteristiche della componente terrigeno - sedimentaria, dimostrando che le odierne metodologie analitiche e tecniche di lettura dei dati, se sono mirate, sono in grado di dare un risultato apprezzabili anche in condizioni di insufficienza di quantità di campione. L'indagine geochemica, oltre a definire le caratteristiche petrografiche e di probabile provenienza del campione, sono state utili per comprendere, della laguna di Nador, il grado di inquinamento (Appendice I). Lo strumento principale per tale trattazione sono state le analisi statistiche mediante confronto diretto tra i dati (matrici di correlazione e grafici binari) e un'indagine con l'uso di software specifici per la Cluster Analyses. Tutti i dati discussi sono stati confrontati con le metodologie di studio del comparto sedimentario in uso a livello globale (Appendice II) e con i livelli legislativi definiti dalla Comunità Europea e dallo Stato italiano (Appendice III).

Le campionature sono state eseguite in due periodi, geo - referenziate con strumenti GPS e riguardanti entrambe la stratigrafia superficiale (profondità non superiori agli 8 cm). La prima campionatura è avvenuta tra febbraio e luglio 2010, ad opera del team del Prof. Nachite Driss: si tratta di una campionatura che copre tutta l'area della laguna; con l'uso di un'imbarcazione a motore i ricercatori, una volta arrivati sul punto di raccolta, hanno utilizzato un piccolo contenitore in pvc, posto al vertice di un'asta e, dopo averlo calato in acqua, hanno raccolto il primo strato superficiale di sedimento. I campioni sono stati poi asciugati in stufa a 110 °C, privati delle componenti più grossolane (residui di gusci o vegetali, granulometrie superiori alla frazione arenitica), pesati e posti in

sacchetti in polietilene. Un numero di campioni scelti è stato inviato al Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra di Ferrara per le indagini riferite in questa tesi. La seconda campionatura è stata eseguita dal Dot. Ahmed Ait Touchnt (Dottorando presso l'Università di Ferrara), nel gennaio del 2013, lungo le costa e la spiaggia dell'area settentrionale della laguna. Il campione viene raccolto a 4 centimetri dalla superficie, posti tal quali in sacchetti di polietilene e portato in Italia da Dot. Ait Touchnt. La seconda campionatura, priva del raffinamento della prima, è stata utile per avere frammenti e gusci di Bivalve e Gasteropodi, con lo scopo di tracciare un'indagine preliminare sulla natura e qualità dei Molluschi presenti in laguna.

Per lo studio dei campioni sono state utilizzate le seguenti metodologie:

- Analisi chimica totale del bulk mediante Fluorescenza a Raggi X (XRF)
- Analisi delle fasi cristalline mediante Diffrazione ai Raggi X (XRD) e studio dei diffrattogrammi con l'uso del software Qual-X e del database PDF dell'International Centre for Diffraction Data
- Definizione della densità reale con il Picnometro ad elio
- Uso di setacciatura a secco per la definizione della granulometria
- Microscopio ottico a luce riflessa con digitalizzazione delle immagini mediante microcamera per lo studio delle caratteristiche visive del campione
- Analisi puntuale ed elementare dei frammenti di conchiglie con l'uso di μ - XRF portatile

Tutte le analisi sono state realizzate presso i laboratori del Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra dell'Università di Ferrara.

4.1 Fluorescenza ai Raggi X – XRF

La tecnica analitica XRF consente di ottenere informazioni sulla composizione chimica totale del campione preso in esame. Il procedimento prevede che, tramite l'utilizzo di un pestello/ giara in Agata (pietra silicea che diminuisce il rischio di contaminazione del campione), si polverizzi il campione rendendolo quasi impalpabile al tatto. La polvere così ottenuta viene inglobata in una pastiglia preparata con il supporto dell'acido bórico

(elemento risultante neutro alla lettura dello strumento), amalgamata con un collante e pressata da una pressa idraulica.

L'XRF, si basa sul principio per cui, eccitando un campione con radiazioni X primarie, esso emette una radiazione X secondaria, di "fluorescenza" contenente picchi che caratterizzano gli elementi chimici del campione (West et al., 2012).

L'emissione di raggi X di fluorescenza, prevede l'interazione dei raggi X con la materia che produce un salto elettronico provocato dall'assorbimento da parte di un atomo di una radiazione di raggi X, avente energia per produrre la sua ionizzazione e quindi la sostituzione elettronica da un livello ad uno più interno.

L'intensità della radiazione è correlabile alla concentrazione degli elementi del campione nel punto irraggiato (in genere di 3 – 100 mm²) e dà luogo ad uno spettro discontinuo. Il riconoscimento di raggi X avviene attraverso la loro dispersione tramite l'uso di un "cristallo analizzatore". In funzione della distanza tra i piani del cristallo, ogni lunghezza d'onda delle radiazioni verrà riflessa dal cristallo secondo la legge di Bragg [2]:

[2]

$$2 d \sin \theta = n \lambda$$

dove:

d = distanza interplanare del cristallo analizzatore;

θ = angolo di incidenza della radiazione sul cristallo analizzatore;

λ = lunghezza d'onda di una radiazione X monocromatica;

n = ordine di riflessione.

La radiazione primaria, proveniente da un tubo a Raggi X, incide sul campione in esame producendo una radiazione di Raggi X di fluorescenza andando a sua volta ad incidere sul cristallo analizzatore, questa viene scomposta nelle sue componenti monocromatiche, le quali sono poi selezionate dal rivelatore in diverse posizioni angolari. Per limitare la divergenza del fascio di Raggi X, prima e dopo il cristallo analizzatore, vengono montati dei collimatori (fenditure di Soller), costituiti da un certo numero di lamine metalliche, molto sottili e parallele, fra loro distanziate dai 200 ai 500 μm a seconda del tipo di cristallo a cui il dispositivo viene abbinato.

La generazione di Raggi X avviene nello strumento il quale è costituito da un tubo di Coolidge e da un apparato di alimentazione. Il tubo consiste in un'ampolla di vetro, sigillata, sotto vuoto, contenente un catodo a filamento di tungsteno e un anodo

massiccio, costituito da un blocco di rame, tenuto ad alto potenziale, la cui superficie è protetta da una placca metallica (anticatodo o bersaglio).

L'XRF è un metodo d'analisi invasivo ma non distruttivo in quanto viene prelevato un campione poi ridotto in polvere, la polvere viene compattata fisicamente in pasticche che dopo l'analisi vengono conservate, in tempi successivi si può ripetere l'analisi.

Parte della polvere, ottenuta mediante macinatura, è stata utilizzata per la determinazione della LOI, ossia la perdita al fuoco. La polvere del campione è stata prima asciugata in forno a 110°C, poi posta in crogioli in ceramica e sottoposta ad una temperatura di 1000°C per un'intera notte. A questa temperatura si determina la perdita dell'acqua di cristallizzazione e degli altri componenti volatili, come l'anidride carbonica presenti nel campione.

L'analisi in fluorescenza di raggi X è stata eseguita, su pasticche di polvere pressata, mediante lo spettrometro a dispersione di lunghezza d'onda ARL Advant'XP. L'elaborazione delle intensità acquisite e la correzione degli effetti matrice sono state eseguite secondo il metodo proposto da Lachance e Traill nel 1966 (Klimasara, 2000).

4.2 Diffrazione ai Raggi X – XRD

L'XRD è una tecnica analitica che consente di analizzare i solidi cristallini, mentre è inadeguata per lo studio delle fasi amorfe.

Costituisce una metodologia analitica non distruttiva che impiega quantità limitate di campione e che oltre ad essere di tipo qualitativa da anche dei risultati semiquantitativi.

Lo studio dei minerali ai raggi x rende indispensabile l'utilizzazione di un diffrattometro, costituito essenzialmente da un generatore ad alto voltaggio, da un tubo con specifico bersaglio metallico e da un goniometro, che consente la rotazione del campione e la misura degli angoli di diffrazione, da un sistema di rilevamento (detector) che permette l'intercettazione, l'amplificazione e la misura delle radiazioni diffratte.

I tubi a raggi x più comunemente usati per l'analisi dei minerali utilizzano (come il diffrattometro del Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra dell'Università di Ferrara, utilizzato in questo studio) il rame come target metallico.

Il campione da analizzare viene sistemato al centro del goniometro dove è possibile farlo ruotare, ed è investito da raggi x secondo angoli diversi. Le radiazioni diffratte vengono captate dal sistema di rilevamento che ruota ad una velocità doppia rispetto al campione e trasformate in impulsi elettrici. Questi, dopo amplificazione, sono inviati ad un

registratore che produce un diffrattogramma caratterizzato da una successione di picchi ciascuno in corrispondenza del valore dell'angolo 2θ in cui si è verificata la diffrazione. La diffrattometria a raggi x si basa sull'equazione di Bragg [3]:

[3]

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

Essa definisce la relazione tra la distanza tra i piani nel minerale (d), la lunghezza d'onda dei raggi x (λ) e l'angolo di diffrazione (θ) (uguale all'angolo di incidenza). Sul piano laterale del diffrattometro viene inserita una pasticca; un software, collegato con il diffrattometro, calcola i valori di distanza interplanari d (hkl) e l'intensità corrispondenti ad ogni riflesso.

In generale, da un profilo di diffrazione da polveri, possiamo ottenere quattro tipi d'informazioni:

- posizione dei picchi di diffrazione: dipendono dalle dimensioni della cella elementare dei cristalli presenti nel materiale in esame e permettono il riconoscimento delle fasi presenti nel campione;
- funzioni di forma del picco: l'allargamento del picco può avvenire per diverse cause, una parte delle quali dovute ad effetti strumentali e una parte dovuta a caratteristiche micro strutturali del campione. Da tale funzione si ricavano informazioni sulle dimensioni e deformazione interna dei cristalliti.
- intensità dei picchi: sono proporzionali alla frazione di una certa fase mineralogica all'interno del campione e consentono una stima semiquantitativa delle fasi presenti;
- intensità del fondo: è la parte meno interessante di uno spettro di diffrazione e gli apparati sperimentali sono progettati per ridurre il contributo del fondo ed esaltare il rapporto picco/ fondo.

4.3 Densità reale - Picnometro ad elio

Il picnometro è uno strumento per la misura della densità reale tramite il principio dello spostamento di gas. Il gas utilizzato per la misura è l'elio, la cui dimensione atomica ridotta consente di occupare tutta la superficie e anche i pori più piccoli del campione in esame, per ottenere il volume reale occupato dal campione.

Il rapporto tra peso a secco del campione e volume misurato dal picnometro consente di ottenere la densità reale del materiale.

L'utilizzo dell'elio come gas di analisi è la scelta migliore per la sua alta conducibilità termica, che in ambiente termicamente regolato consente di ottenere risultati molto precisi in maniera veloce. L'utilizzo dell'elio come fluido di misura garantisce una grande accuratezza, date le piccole dimensioni degli atomi, che riescono a penetrare in pori ed interstizi delle dimensioni di 0,25 nm di diametro. La determinazione avviene in maniera rapida ed automatica, e permette di raggiungere precisioni (g/m^3) fino alla terza cifra decimale.

4.4 μ - Xrf Portatile

Alcuni campioni oltre a contenere materiale sedimentario di natura terrigena sono ricchi in frammenti di Bivalvi e Gasteropodi. Per una determinazione puntuale del chimismo di questi elementi si è utilizzato il μ -XRF Spettrometro Artax della Bruker (vedi Fig.23): si tratta di un analizzatore XRF da banco, capace di fare un'analisi multi elementale, in maniera non invasiva e non distruttiva. Esso è in grado di rilevare elementi che vanno dal Na (11) al U (92): gli elementi più leggeri, dal Na (11) all'Ar (18), possono essere individuati se tra il rilevatore e il campione viene posto un mezzo con un indice di ... migliore dell'aria, quale l'elio.

I campioni, dopo essere stati lavati in acqua distillata MilliQ, al fine di eliminare i residui terrigeni, vengono posizionati sotto il fascio a Raggi X.

Per ottenere un migliore risultato lo strumento deve operare in un ambiente privo di fonti luminose.

Il tubo a raggi in X in dotazione allo strumento è in grado di generare un fascio partendo da due target differenti: in Mo per l'analisi degli elementi più leggeri e in W per quelli con un valore Z medio o elevato. Il rilevatore, posto ad un'angolazione calibrata grazie all'uso di un fascio laser e di un software dedicato, raccoglie le radiazioni prodotte dall'interazione tra il fascio primario, generato dal tubo, e il campione.



Figura 23 Particolare dello strumento μ -XRF in dotazione al Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra.

Le analisi sono di tipo puntuale e la presenza di una microcamera posta vicino al rilevatore permette di individuare con esattezza, attraverso una fotografia, il punto esatto di analisi.

I risultati vengono riportati in uno spettro che permette di ottenere un'analisi qualitativa e semiquantitativa.

5. Le indagini analitiche

5.1 La granulometria e la densità

Per una determinazione corretta della componente sedimentaria è necessario definire granulometria e densità del campione. Tuttavia tale indagine si è resa impossibile a causa della scarsità del materiale in possesso: ogni campione pesava mediamente 25 g, quantità non sufficienti per una corretta indagine granulometrica comprensiva della fase pelitica.

Nonostante ciò si è tentato di dare una descrizione, seppur grossolana, della distribuzione granulometrica all'interno della laguna.

Si è scelto di fare tale indagine solo per un gruppo ristretto di campioni: S003, S006, S007, S009, S011, S020, S034, S059, S186, S192, S242, S249, N001, N002, N003, N004, N005, N006, N007, N009, N010, N011, N013. Gli stessi sono stati separati mediante setacciatura a secco con l'uso di un setacciatore a maglie in acciaio a diverse trame, a seguito di una vibrazione sussultoria di 10 min. In seguito le varie frazioni sono state pesate con una bilancia di precisione e catalogate. Le classi granulometriche individuate sono così suddivise:

- A. Frazione con granuli superiori a 0,600 mm di diametro
- B. Frazione con granuli superiori a 0,355 mm di diametro
- C. Frazione con granuli superiori a 0,125 mm di diametro
- D. Frazione con granuli inferiori a 0,125 mm di diametro.

In base alla dimensione dei clasti, la setacciatura riesce a dare un'indicazione sulla distribuzione granulometrica della frazione arenitica (Summa, 2000). Riportiamo di seguito i risultati ottenuti visualizzati come curva cumulativa granulometrica (vedi Tab. 8) e come Distribuzione di frequenza (vedi Tab. 9).

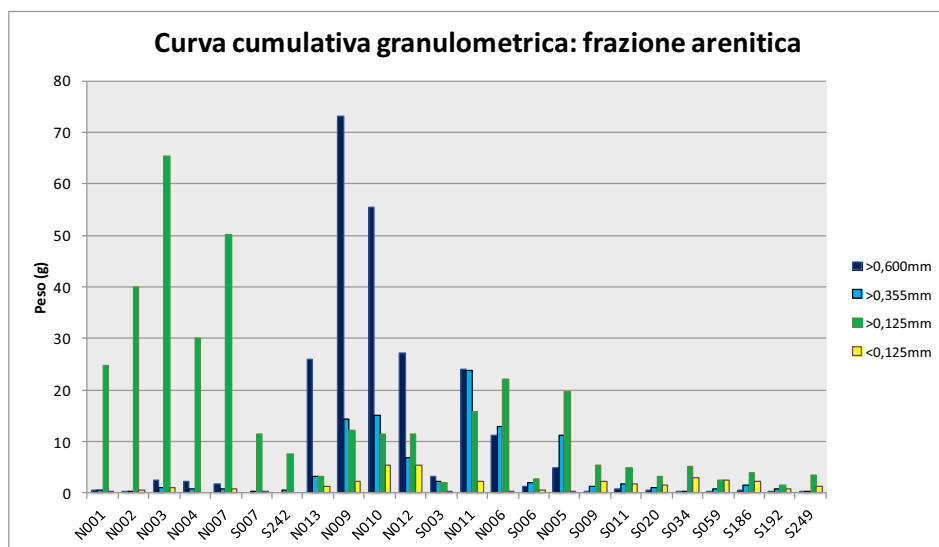


Tabella 7 Curva cumulativa granulometrica.

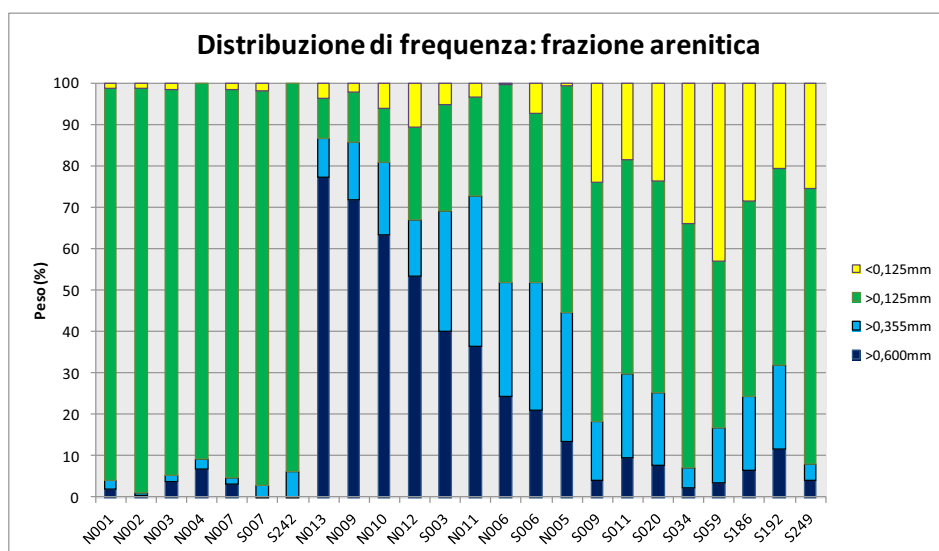


Tabella 8 Distribuzione di Frequenza.

Da una prima analisi si può notare come si distinguono tre gruppi principali:

- Gruppo 1 = Campioni in cui la frazione di granuli di grandezza tra 0,125 e 0,355 mm è la più presente e risultano quasi assenti le altre. Si tratta dei campioni N001, N002, N003, N004, N007, S007, S242;
- Gruppo 2 = Campioni in cui la fase è più grossolana, con granuli di dimensioni tra 0,355 e 0,600mm di diametro, presente in % peso superiori al 40%, ma poveri nelle

frazioni più fini, sono i campioni N013, N009, N010, N012, S003, N011, N006, S006, N005;

- Gruppo 3 = Campioni in cui vi è una distribuzione più regolare fra i vari range granulometrici, con una presenza più cospicua di granulometria fine, al di sotto dei 0,125 mm di diametro, ovvero i campioni S009, S011, S020, S034, S059, S186, S192, S249.

Di seguito proponiamo una mappa in cui sono visualizzate le posizioni dei campioni divisi in base ai gruppi sopra descritti.

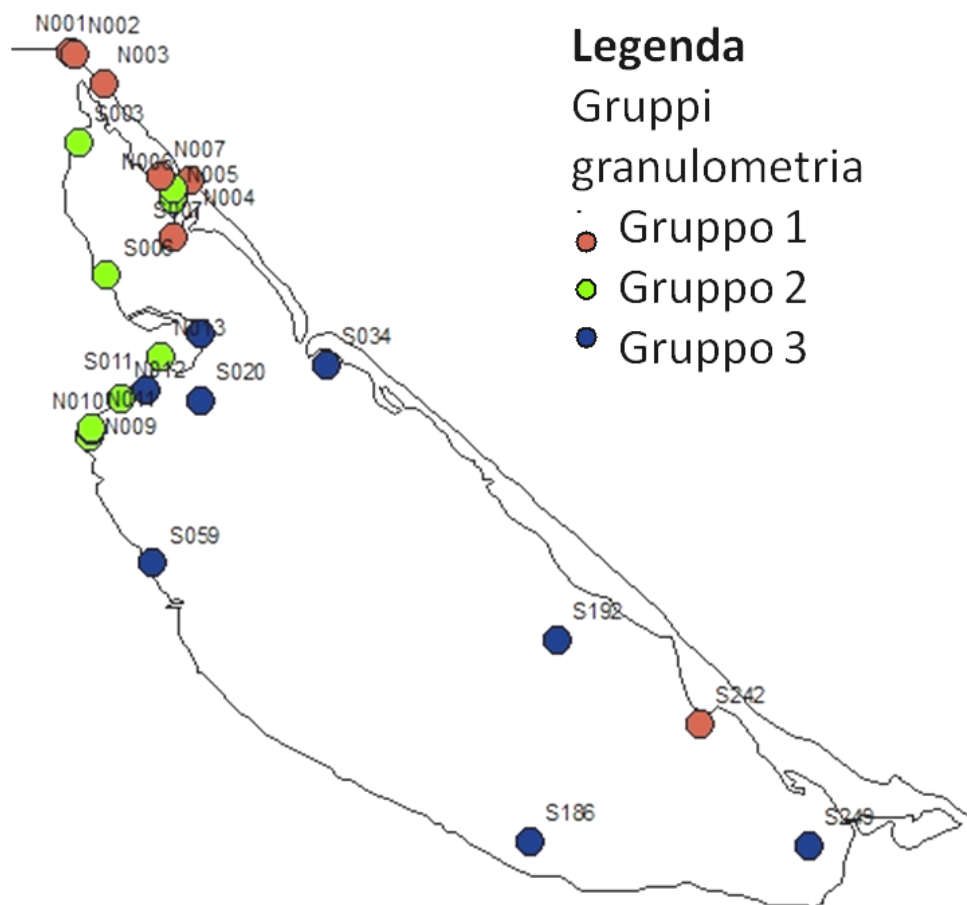


Figura 24 Mappa della laguna con la distribuzione dei diversi Gruppi granulometrici.

La distribuzione (vedi Fig.24) mette in evidenza una tripartizione che divide in senso longitudinale la laguna, dalla costa verso il cordone litorale. Questa divisione è in linea con ciò che viene descritto da altre pubblicazioni (Saubade, 1979; Abouhala et al., 1995; El Alami et al., 1998; Dakki et al., 2003; Ruiz et al., 2006).

La granulometria è la prima indicazione dell'energia di trasporto: sabbie grossolane indicano un trasporto avvenuto con grande energia, mentre sabbie fini caratterizzano iter

deposizionali tranquilli. Inoltre la distribuzione granulometrica dei sedimenti superficiali, poiché può mutare nel tempo per motivi di alterazioni nell'idrodinamica dell'ambiente, è un ottimo indicatore dei fattori naturali e/o antropici in corso (Flower et al., 2009).

Per tali motivi è di grande utilità descrivere la granulometria degli strati superficiali.

Dai dati ottenuti si riscontra che nel complesso la laguna ha una granulometria medio fine (in base alla classificazione Wentworth Udden, 1922), dove le aree lungo il cordone litorale si differenziano per una maggior presenza della classe granulometrica tra 0,125 e 0,355 μm , mentre le sabbie della zona centrale sono meglio classate.

Distante dagli altri, è il Gruppo 2, lungo le pendici del Gourogou, poiché si tratta di una sabbia grossolana, caratterizzata da una bassa presenza della granulometria fine che invece caratterizza il resto della laguna.

Tale differenza è dovuta proprio alla vicinanza alle pendici del Gourogou che, oltre ad essere contraddistinto da una litologia più dura (basalti, latiti), è interessato da tempo da problematiche legate alla cattiva gestione del territorio. Le pendici sono rade di vegetazione e durante le perturbazioni più violente vi è un intenso ruscellamento che porta in laguna molto materiale, di granulometria maggiore.

Secondo quanto descritto da Loulaya e Hamoumi, (2011) le evoluzioni morfodinamiche degli ultimi anni sono dovute essenzialmente all'azioni dell'uomo, che agisce sull'equilibrio della sedimentazione e nella configurazione complessiva della morfologia.

La laguna di Nador è sottoposta a due fenomeni speculari: la linea di costa che avanza grazie al materiale portato dagli Oued (avanzamento delle foci) e dall'azione intermittente e violenta a carattere erosivo delle perturbazioni; l'area del cordone litorale ha subito negli ultimi anni una preoccupante riduzione tanto che, mentre nei pressi della Bochana vi è stato un arricchimento in sedimenti, il vecchio delta tidale a nord si è quasi completamente eroso.

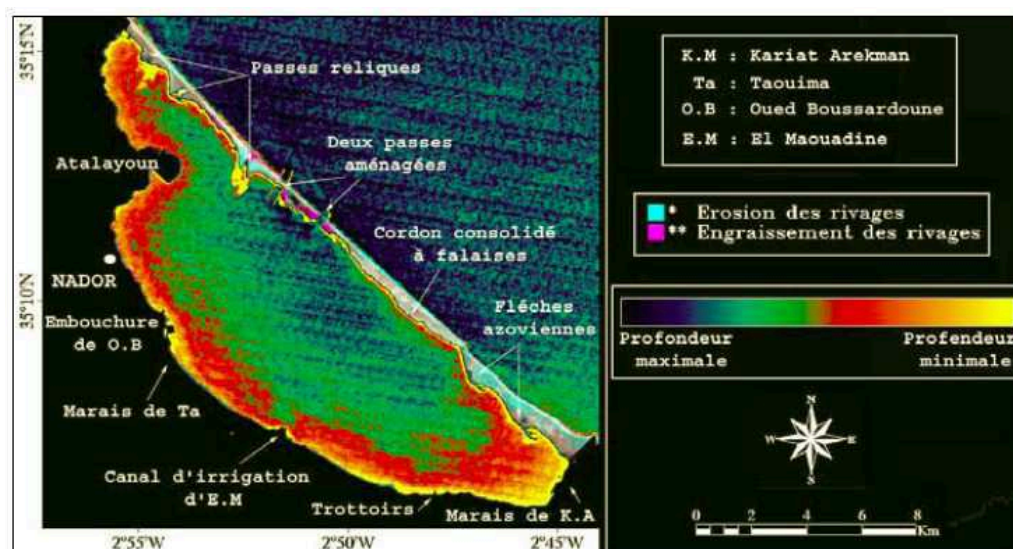


Figura 25 Il livello di erosione della laguna di Nador, dal 1976 al 2010, da Loulaya e Hamoumi, (2011).

In generale il fenomeno dell'erosione delle coste ha generato un aumento nella laguna del sedimento proveniente dall'area continentale (Dakki et al., 2003).

Vi sono due campioni, N005 e N006, che non sembrano seguire l'andamento generale rispetto all'area di appartenenza. I campioni si trovano proprio nel delta tidale caratterizzato dalla forte erosione. Si ipotizza che questi campioni, nonostante siano superficiali, possano essere riferibili a livelli meno recenti, in cui vi erano differenti dinamiche deposizionali, poiché lo strato superficiale è sottoposto ad azione erosiva intensiva. Può darsi che tali campioni si riferiscano al momento di formazione del delta tidale, quando in quel punto l'apertura lungo il cordone litorale era ancora attiva.

Su un serie di campioni (S003, S006, S007, S009, S011, S020, S034, S059, S186, S192, S242, S249), con l'uso del picnometro ad elio, sono state individuate le densità reali (vedi Fig.26 e Fig.27), al fine di vedere se le densità hanno delle relazioni con le litologie da cui probabilmente derivano i campioni.

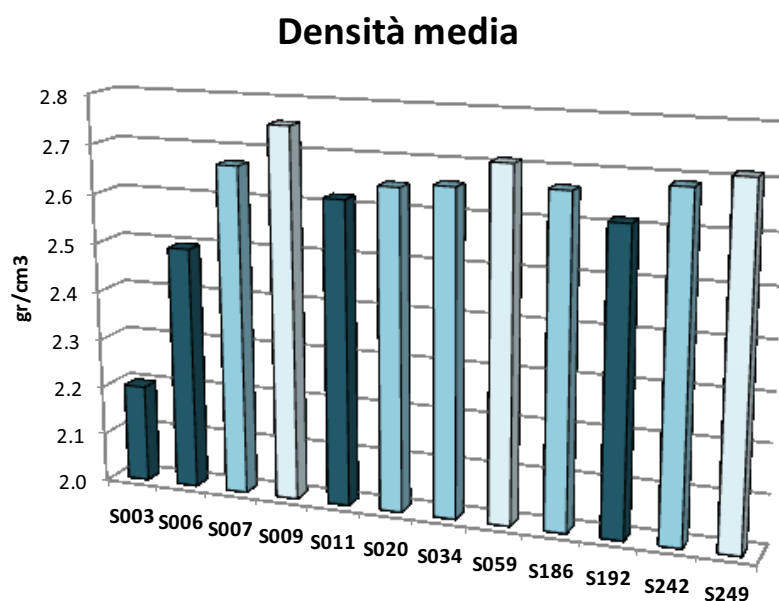


Figura 26 Istogramma della densità media dei campioni analizzati con il picnometro ad elio.

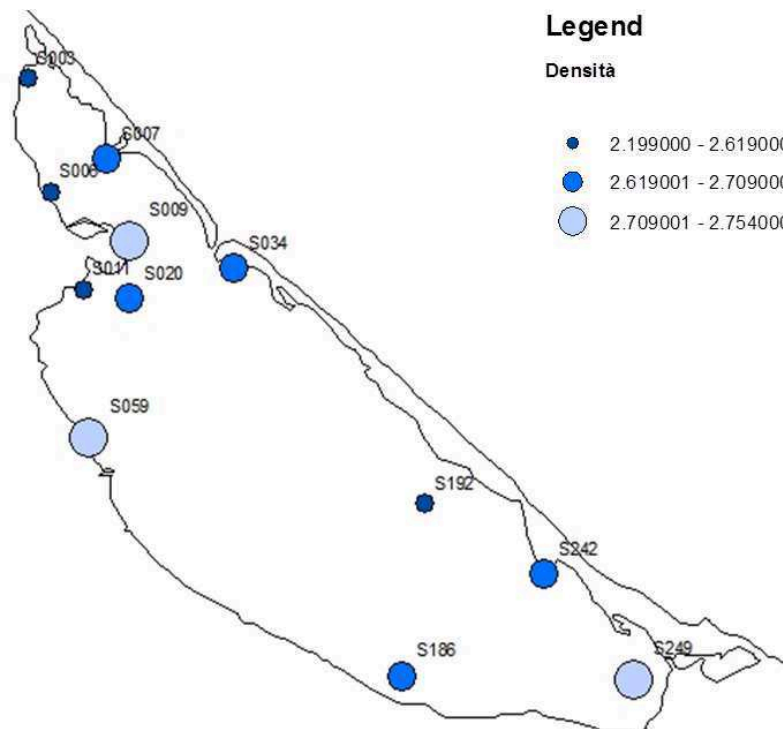


Figura 27 Mappa con il posizionamento geografico delle densità definite con il picnometro ad elio.

I campioni S003 E S006 sono quelli a minore densità, composti in gran parte da tufi vulcanici, con i quali sono correlabili per densità ($1.2-1.9 \text{ g/cm}^3$); è la presenza di cenere vulcanica che conferisce ai sedimenti una densità medio-bassa.

Mediamente i campioni della laguna hanno una densità paragonabile a quella di una sabbia del Mediterraneo e ciò è in accordo con le considerazioni fatte sulla granulometria.

Coerentemente con la presenza di colate andesitiche e basaltiche nel Complesso del Gorogou, si hanno densità maggiori nei sedimenti prospicienti ($2.5 - 2.8 \text{ g/cm}^3$).

Anche il settore più meridionale, dove affiora il basamento metamorfico, è caratterizzato da elevate densità.

5.2 La mineralogia

Lo studio della mineralogia dei sedimenti è stato effettuato per un gruppo limitato di campioni: S003, S006, S007, S009, S011, S020, S034, S059, S186, S192, S242, S249, N001, N002, N003, N005, N006, N007, N009, N010, N011, N013.

L'analisi qualitativa e semiquantitativa delle fasi mineralogiche è stata eseguita grazie al software Open Source Qual-X.

Come per la granulometria, anche la mineralogia indica una zonizzazione nella laguna. Per tali motivi, e per una più semplice trattazione, i campioni saranno separati in base alle abbondanze delle fasi mineralogiche più abbondanti (vedi Fig. 28): Quarzo, Calcite e Feldspato.

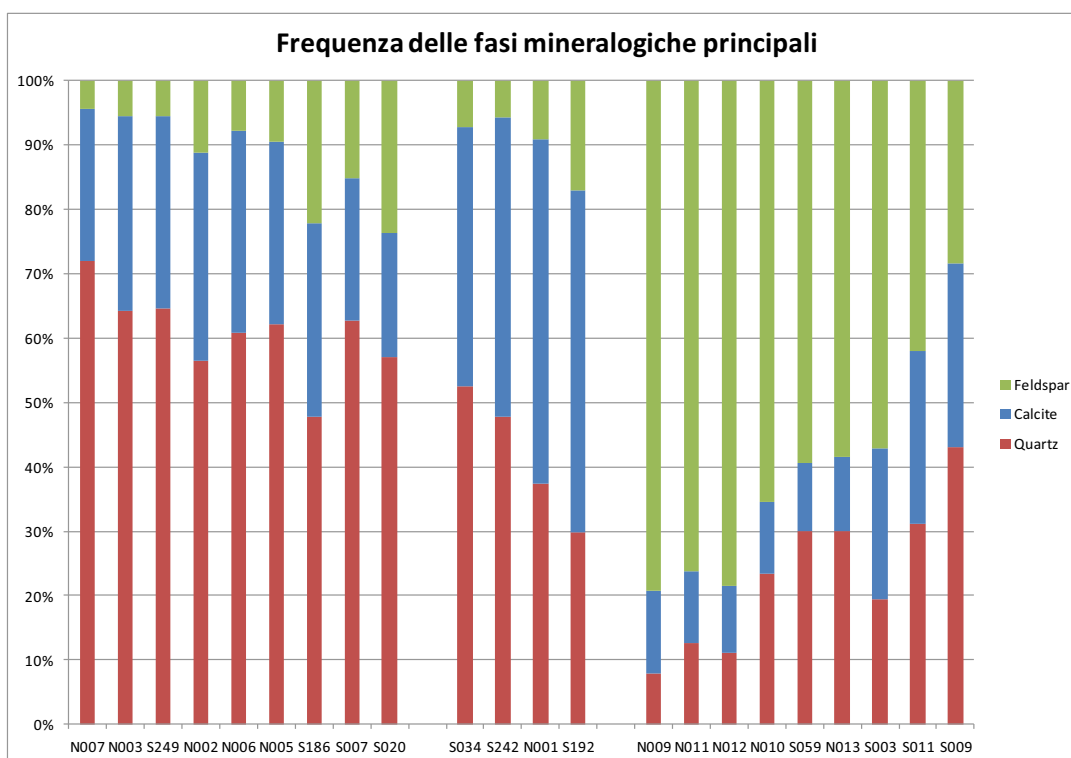


Figura 28 Istogramma di Frequenza delle fasi mineralogiche.

La divisione è quindi delineata in base ai seguenti Gruppi:

Gruppo I: Campioni ricchi in Quarzo e con una quantità di Calcite tra 10 e 25%. Sono i campioni N002, N003, N005, N006, N007, S007, S020, S186, S249.

Gruppo II: sono i più ricchi in Calcite, tra 25 – 40% e sono i campioni N001, S034, S192, S242.

Gruppo III: questi sono i campioni più ricchi in Feldspato, con quantità tra 17 e 58%. Si tratta dei campioni N009, N010, N011, N012, N013, S003, S009, S011, S059.

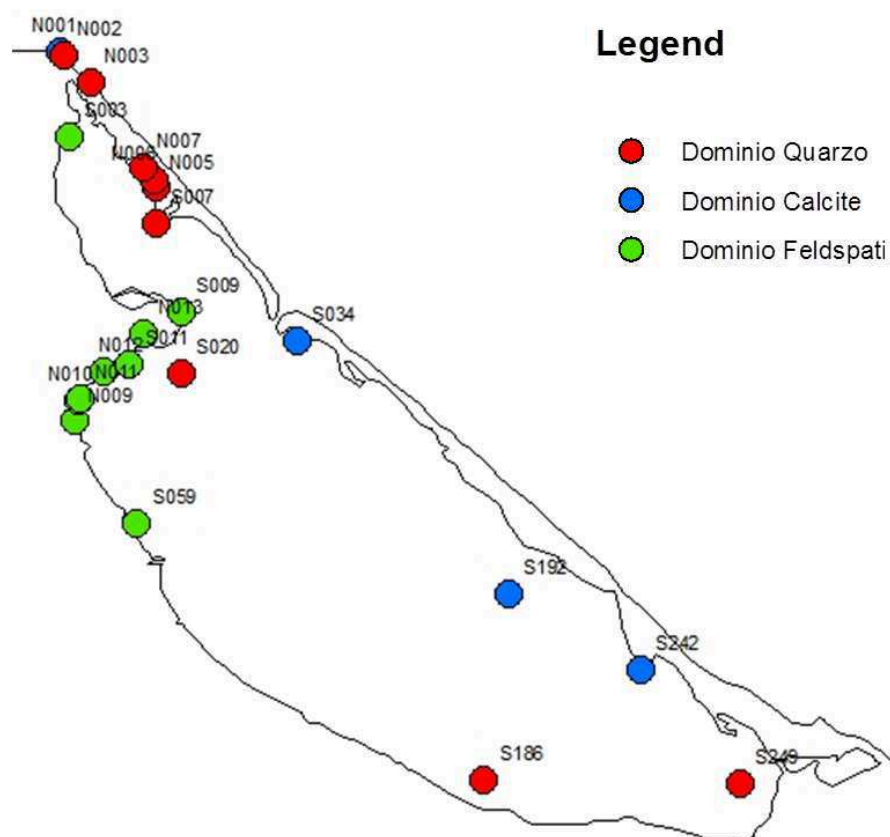


Figura 29 Distribuzione spaziale dei campioni associati ai Gruppo I - dominio Quarzo; Gruppo II - dominio Calcite; Gruppo II - Dominio Feldspato.

Gruppo I: Dominio Quarzo³

In questo gruppo troviamo sedimenti con una forte influenza delle sabbie marine, che penetrano attraverso la Bokhana, ovvero l'apertura lungo il cordone litorale.

I campioni S020 e S186 mostrano una presenza maggiore di Feldspato, ponendosi in posizione intermedia rispetto al Gruppo III: ciò è in linea con la loro posizione nella laguna, vicina alle coste continentali. Il campione S249, nonostante la posizione geografica, ha una composizione in termine di minerali più abbondanti del tutto paragonabile a quella delle sabbie della spiaggia.

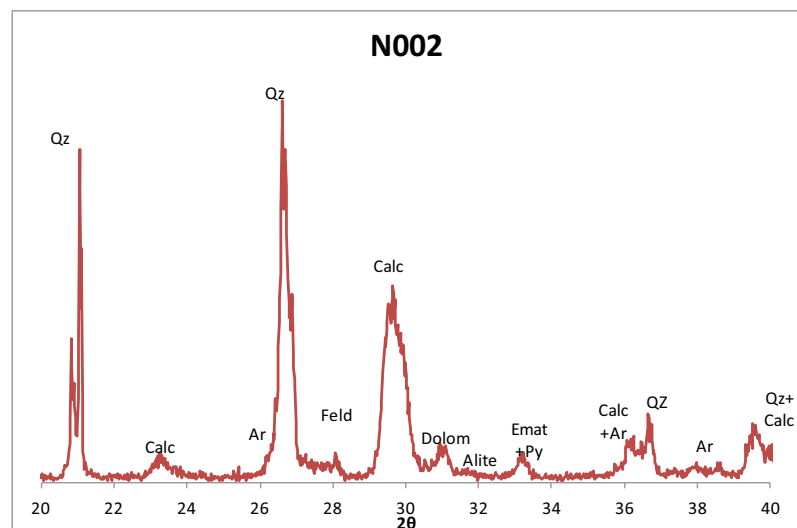


Figura 30 Diffrattogramma campione N002.

³ Le abbreviazioni nei diffrattogrammi sono: Alite = Alite; Augite = Augite; Ar = Aragonite; Calc = Calcite; Dolom = Dolomite; Emat = Ematite; Feld = Feldspato; Py = Pirite; Qz = Quarzo; Zr = Zirconio.

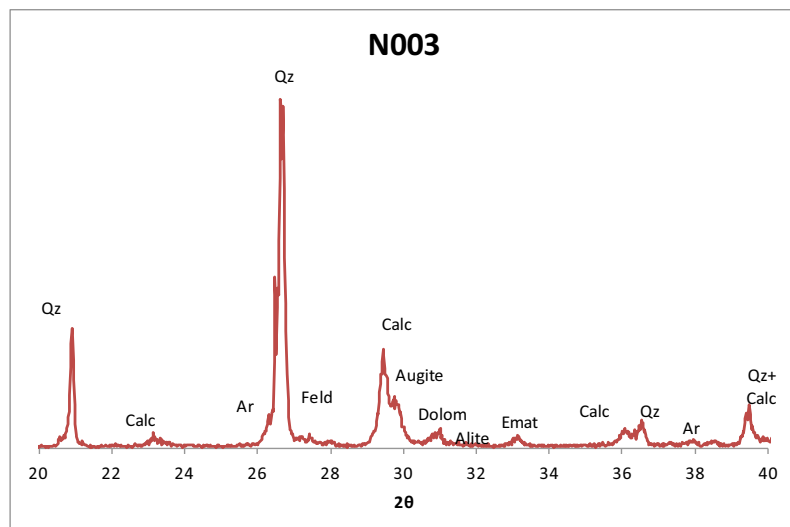


Figura 31 Diffrattogramma campione N003.

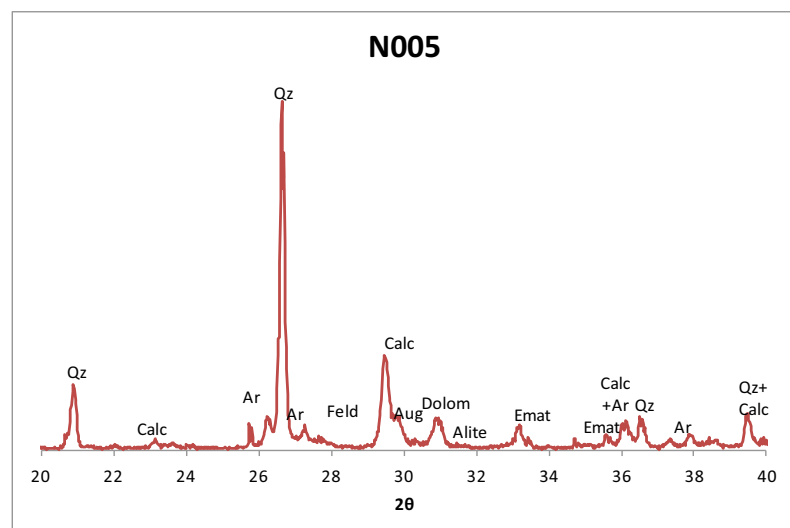


Figura 32 Diffrattogramma campione N005

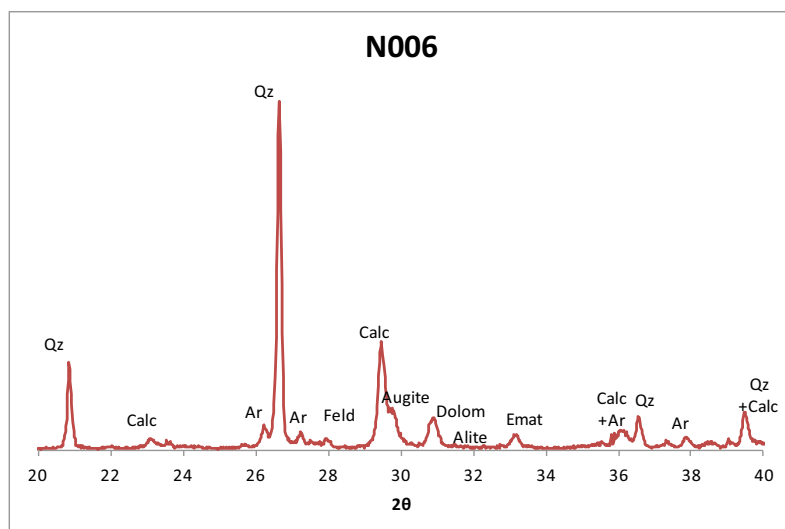


Figura 33 Diffrattogramma campione N006.

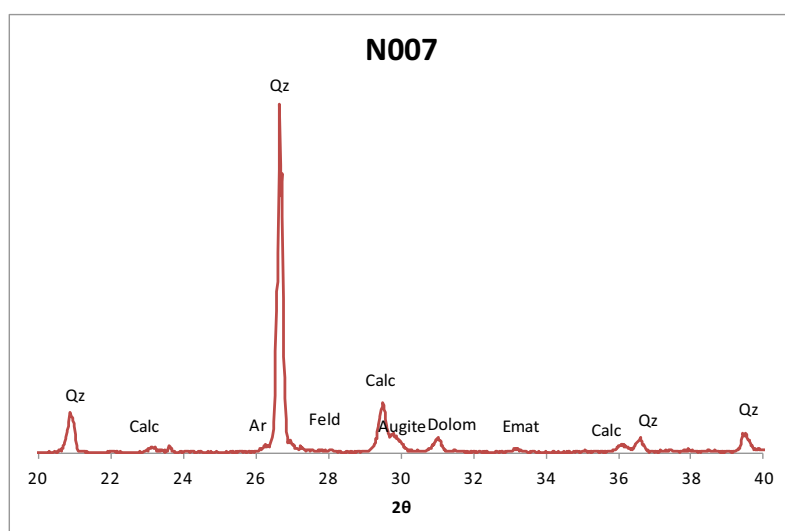


Figura 34 Diffrattogramma campione N007.

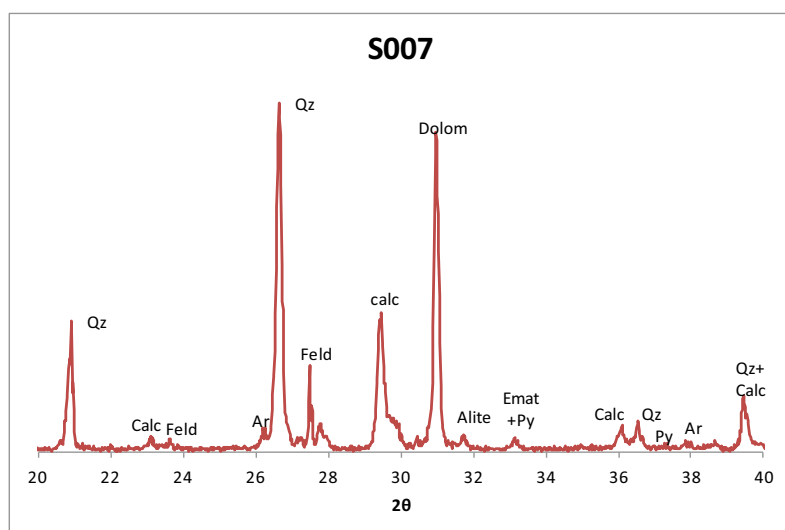


Figura 35 Diffrattogramma campione S007.

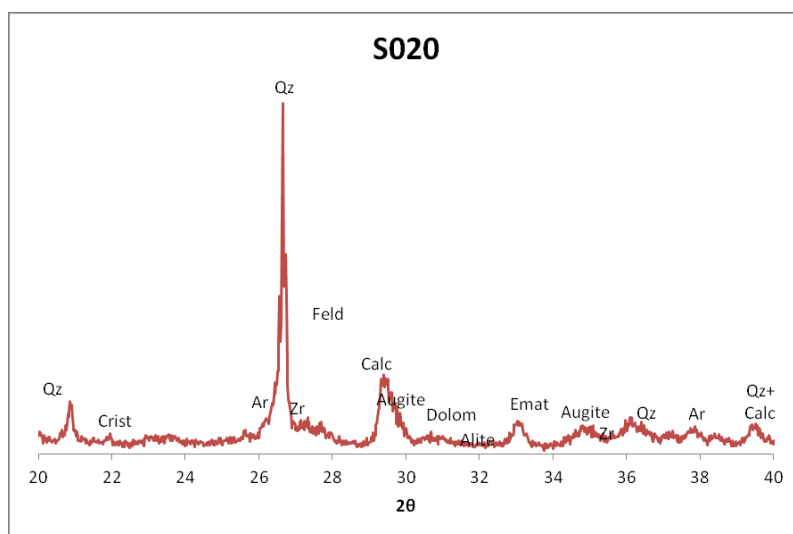


Figura 36 Diffrattogramma campione S020.

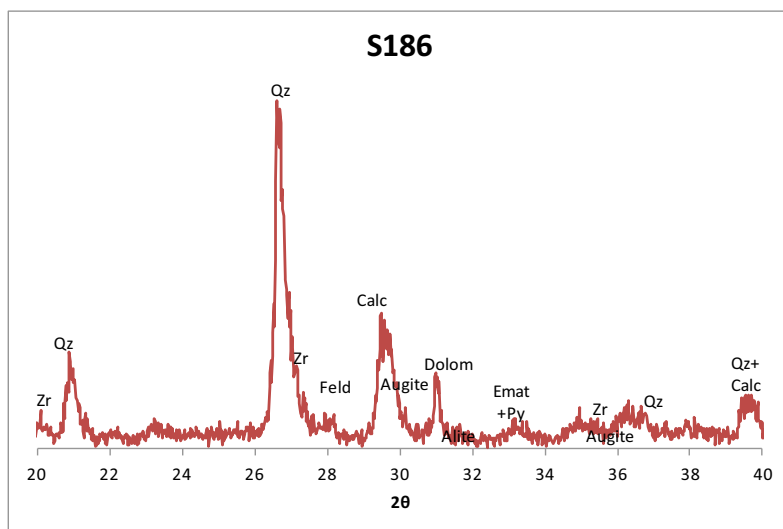


Figura 37 Diffrattogramma campione S186.

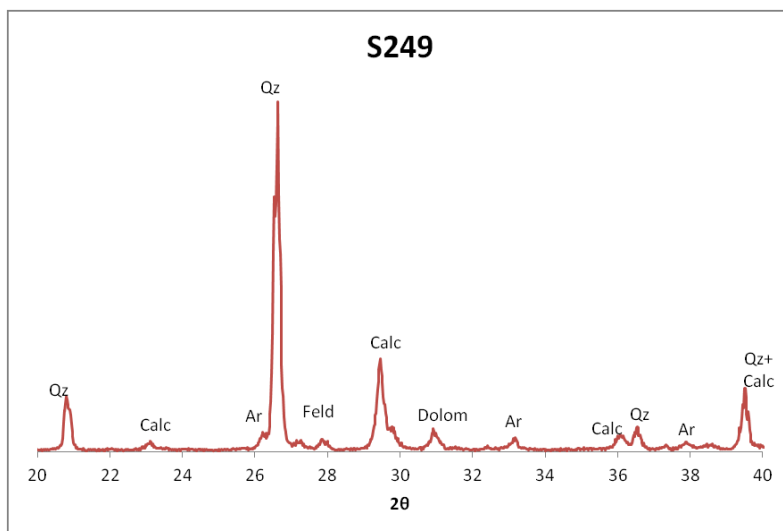


Figura 38 Diffrattogramma campione S249.

In questi campioni le abbondanze sono generalmente, in ordine, Quarzo>Calcite>Feldspato. In quasi tutti i campioni vi è una piccola percentuale in Aragonite, attribuibile alla forte presenza di bioclasti di neoformazione e all'azione di batteri che nel loro ciclo trofico sono in grado di utilizzare l'ossigeno e i Sali, come il gesso, disciolti nell'acqua per formare Aragonite. Molti campioni hanno una lieve presenza in ossidi di ferro, quale l'Ematite.

Il campione S007 si discosta lievemente dal trend generale: esso si trova di fronte all'antico delta tidale che, come abbiamo già detto precedentemente, è incluso in un'area con problemi di forte erosione; inoltre la sua posizione è ravvicinata rispetto all'area di interesse dei residui di lavorazione dell'antica miniera (circa 1.800m di distanza). Ciò fa supporre che i sedimenti raccolti in questo punto abbiano una forte influenza continentale (presenza di una piccola frazione di Pirite). La Dolomite invece si forma in particolare nelle aree in cui le acque marine, ricche in Mg^{2+} si scontrano con quelle intralagunari, caratterizzate da una temperatura e un pH più elevati: queste condizioni sono tipiche delle aree vicine alle aperture lungo il cordone litorale. Tutti questi aspetti fanno supporre che il campione, sebbene superficiale, sia riferibile ad un periodo più antico, in cui il delta tidale e il paleo-canale vicino al quale è posto, erano ancora attivi.

Gruppo II: Dominio Calcite⁴

Si tratta del gruppo meno numeroso: la localizzazione è lungo il cordone litorale a sud della Bokhana. Come spiegato al Cap.3, il cordone litorale è diviso in differenti aree, rispetto alla diverse dinamiche di formazione¹⁵¹. L'area meridionale è costituita da una facies calcarenitica risalente al Pleistocene. Tale litologia è rispecchiata da alti contenuti di Calcite nei campioni; Oltre a ciò concorre anche l'azione biogenica delle colonie di Cianobatteri qui presenti. Le abbondanze principali sono nell'ordine Calcite>Quarzo>Feldspato.

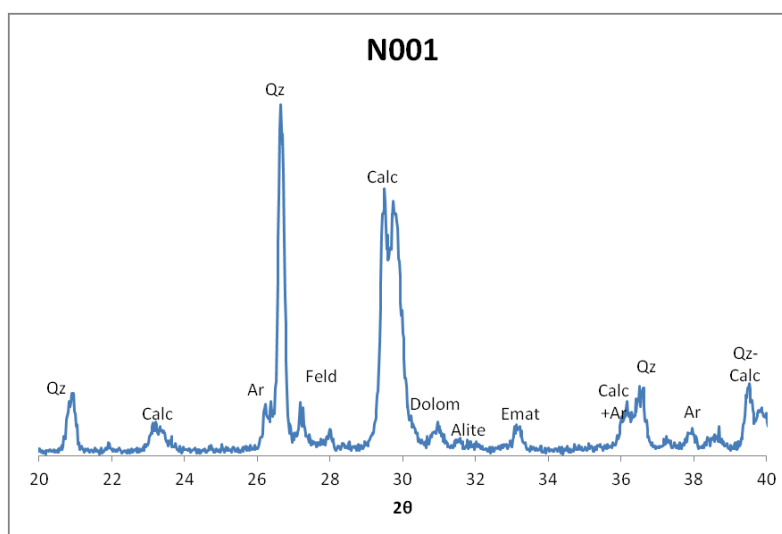


Figura 39 Diffrattogramma campione N001.

⁴ Le abbreviazioni nei diffrattogrammi sono: Alite = Alite; Augite = Augite; Ar = Aragonite; Calc = Calcite; Dolom = Dolomite; Emat = Ematite; Feld = Feldspato; Py = Pirite; Qz = Quarzo; Zr = Zircone.

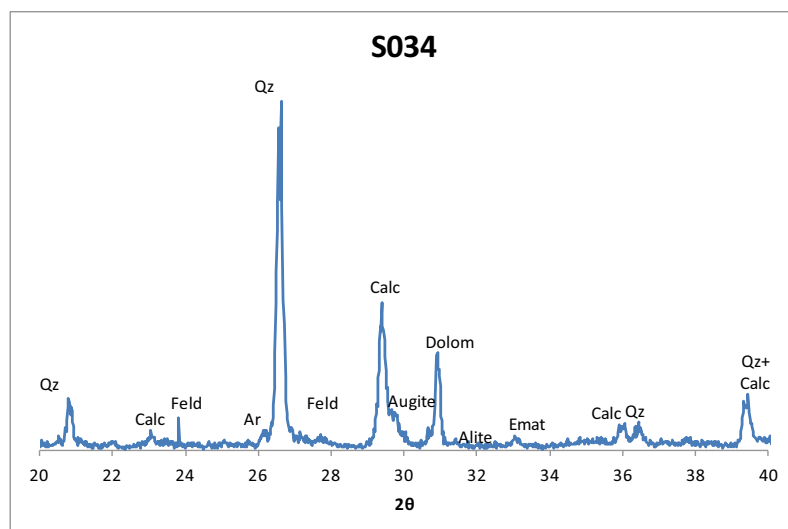


Figura 40 Diffrattogramma campione S034.

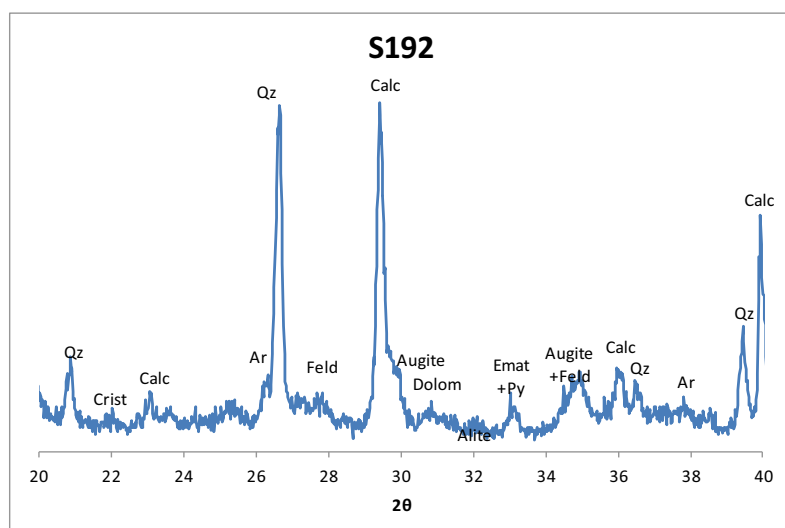


Figura 41 Diffrattogramma campione S192.

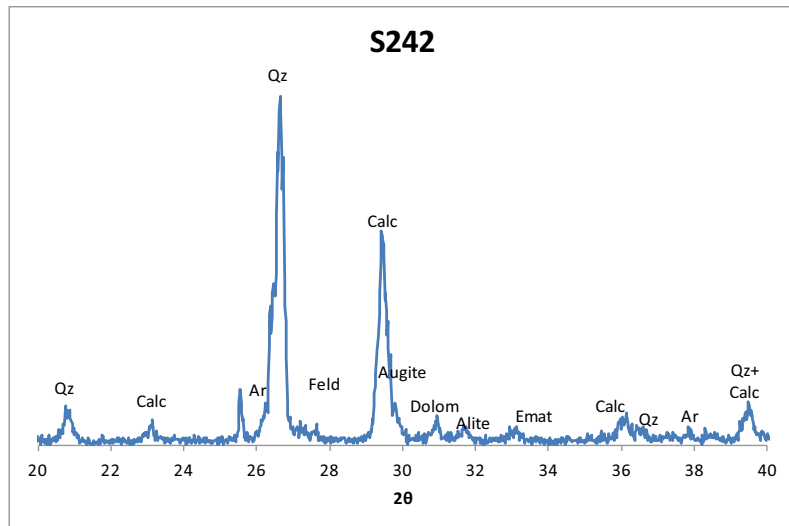


Figura 42 Diffrattogramma campione S242.

In tutti i campioni è presente una frazione di Aragonite, probabile indizio della presenza di bioclasti all'interno del sedimento e dell'azione di batteri. L' Alite è un sale che si forma per la precipitazione delle acque sovra sature ed è dovuta ad un fenomeno più incisivo nelle stagioni estive e nelle aree lungo il bordo della laguna, dove la profondità è minore, ovvero le zone delimitate dal Gruppo II. Come nel caso del Gruppo I, i campioni contengono una piccola frazione di ossidi di ferro, in questo caso Ematite.

Il campione N001 è quello che si discosta geograficamente rispetto agli altri: è probabile che questo campione sia particolarmente ricco in biocalsti, e per tale motivo abbia un'abbondanza maggiore in Calcite rispetto agli altri campioni della spiaggia prospiciente Beni Ensar (N002, N003).

Il campione S192 ha un diffrattogramma meno pulito degli altri, con una piccola frazione di Pirite e una presenza elevata di Augite. Ciò fa supporre che la sua posizione, più distante dalla riva del cordone litorale (a circa 1300m), pone questo campione in una zona influenzata dai regimi deposizionali dell'area intralagunare, con rimescolamenti e contributi di zone più lontane, come quelle continentali, in cui l'Augite e la Pirite sono più abbondanti.

Gruppo III: Dominio Feldspato⁵

I campioni di questo gruppo sono disposti lungo le pendici del Gourogou: i Feldspati sono il risultato dell'alterazione delle rocce vulcaniche qui presenti (Basalti, Latiti, Andesiti, Trachiti). Tra i Feldspati i più numerosi sono l'Anortite [$\text{Ca Al}_2 \text{Si}_2 \text{O}_8$] e il Sanidino [$\text{K Al Si}_3 \text{O}_8$]: quest'ultimo è un risultato diretto dell'alterazione delle Andesiti potassiche che formano il promontorio dell'Attaloyoum.

Grazie ad un'analisi al microscopio, nel campione S011, è stato possibile isolare un piccolo gruppo di minerali femici (vedi Fig. 43), come Olivina e Clinopirosseno (Cpx). Tali minerali, oltre a essere indicativi dell'origine vulcanica dei sedimenti, indicano anche che la deposizione è avvenuta con una dinamica veloce, poiché tali minerali sono molto instabili e inclini al degrado.



Figura 43 Immagine al microscopio ottico dei minerali femici.

⁵ Le abbreviazioni nei diffrattogrammi sono: Alite = Alite; Augite = Augite; Ar = Aragonite; Calc = Calcite; Dolom = Dolomite; Emat = Ematite; Feld = Feldspati; Magn = magnetite; Py = Pirite; Qz = Quarzo; Zr = Zirconio.

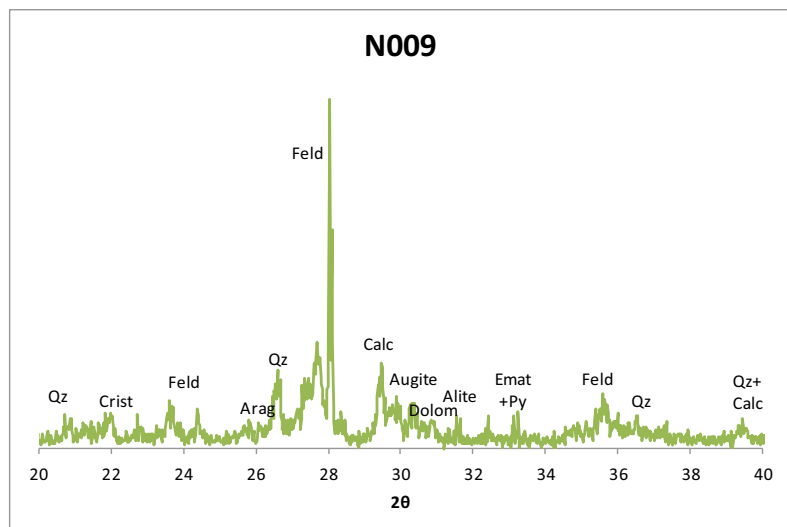


Figura 44 Diffrattogramma campione N009.

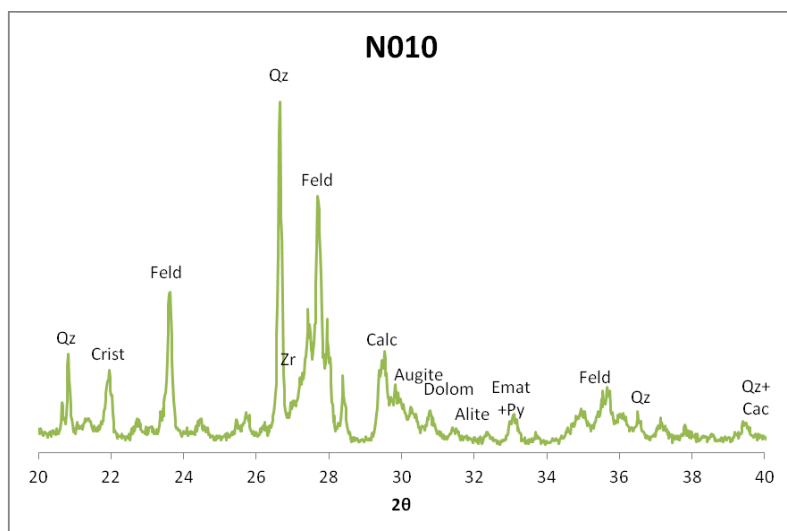


Figura 45 Diffrattogramma campione N010.

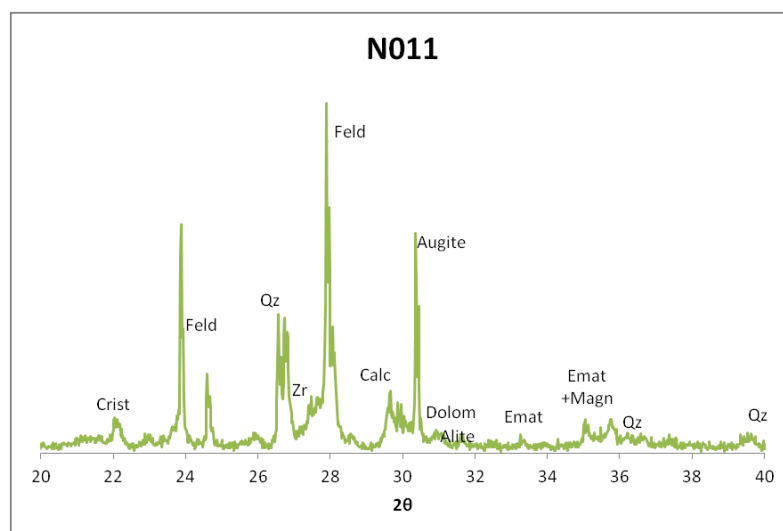


Figura 46 Diffrattogramma campione N011.

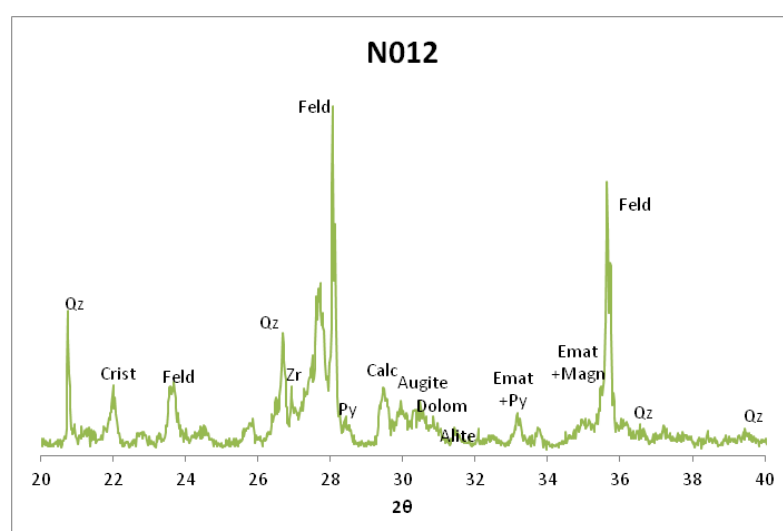


Figura 47 Diffrattogramma campione N012.

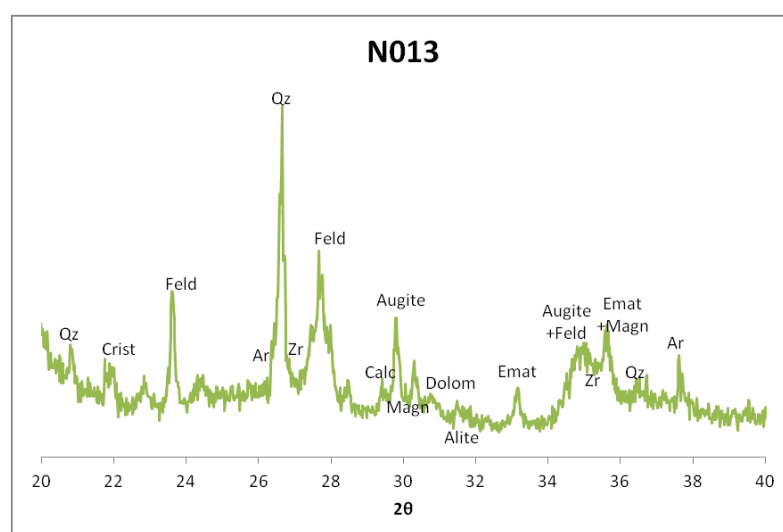


Figura 48 Diffrattogramma campione N013.

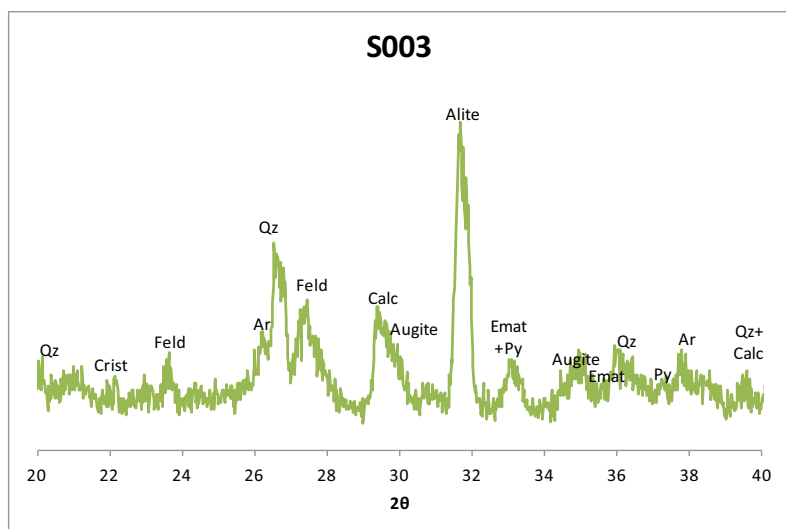


Figura 49 Diffrattogramma campione S003.

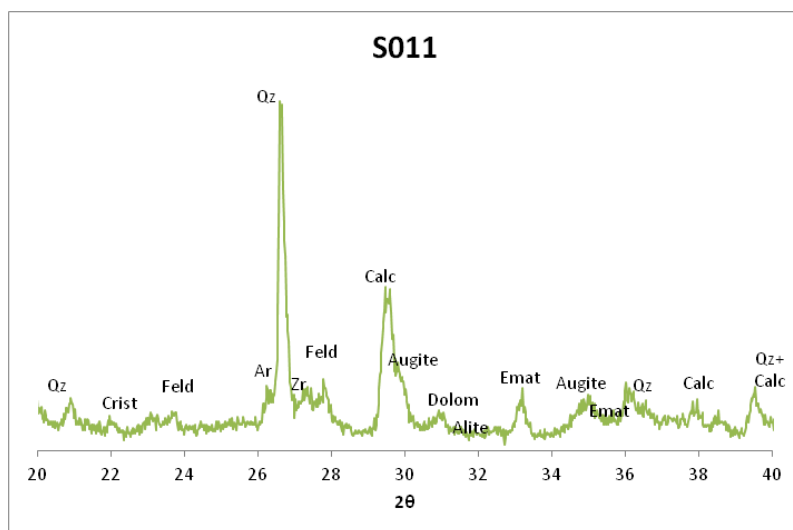


Figura 50 Diffrattogramma campione S011.

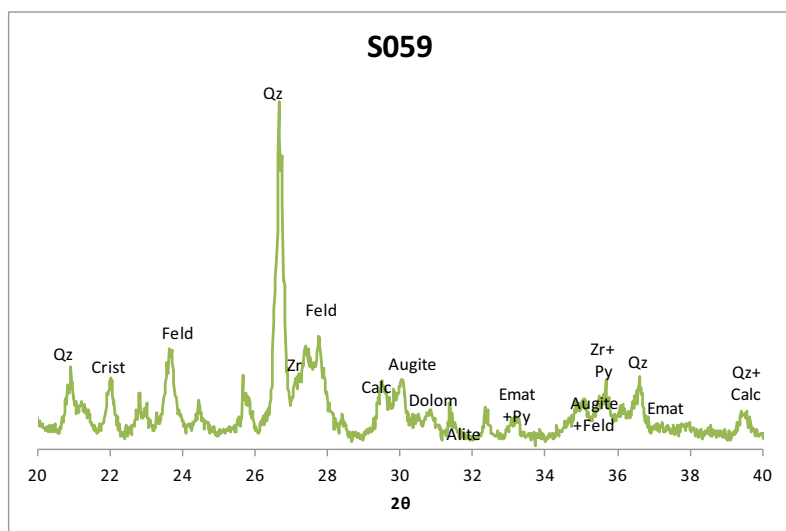


Figura 51 Diffrattogramma campione S059.

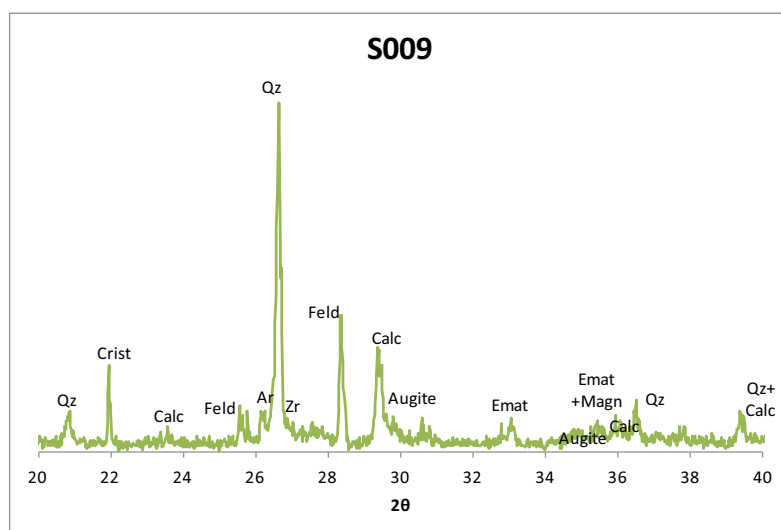


Figura 52 Diffrattogramma campione S009.

Questi campioni sono quelli in cui la presenza degli ossidi di ferro, Ematite e Magnetite, e di solfuri di ferro, quali la Pirite, è maggiore (vedi Fig. 53): tali fasi mineralogiche sono direttamente proporzionali alla presenza di scarti di lavorazione delle antiche miniere lungo le sponde del Gourogou. Per alcuni autori (Bloundi et al., 2009) la Pirite è da intendersi come il risultato di un'azione batteriologica di batteri solfo riduttori (Strauss, 1997), che si assesta in particolare nelle aree centrali, dove il tappeto algale è più ricco: i campioni qui rappresentati sono però riconducibili ad aree litorali, a volte non sommerse o semi sommerse (i campioni N009, N010, N011, N012, N013), dove la copertura algale è più rada, e perciò non pare verosimile tale ipotesi per i campioni qui esposti.

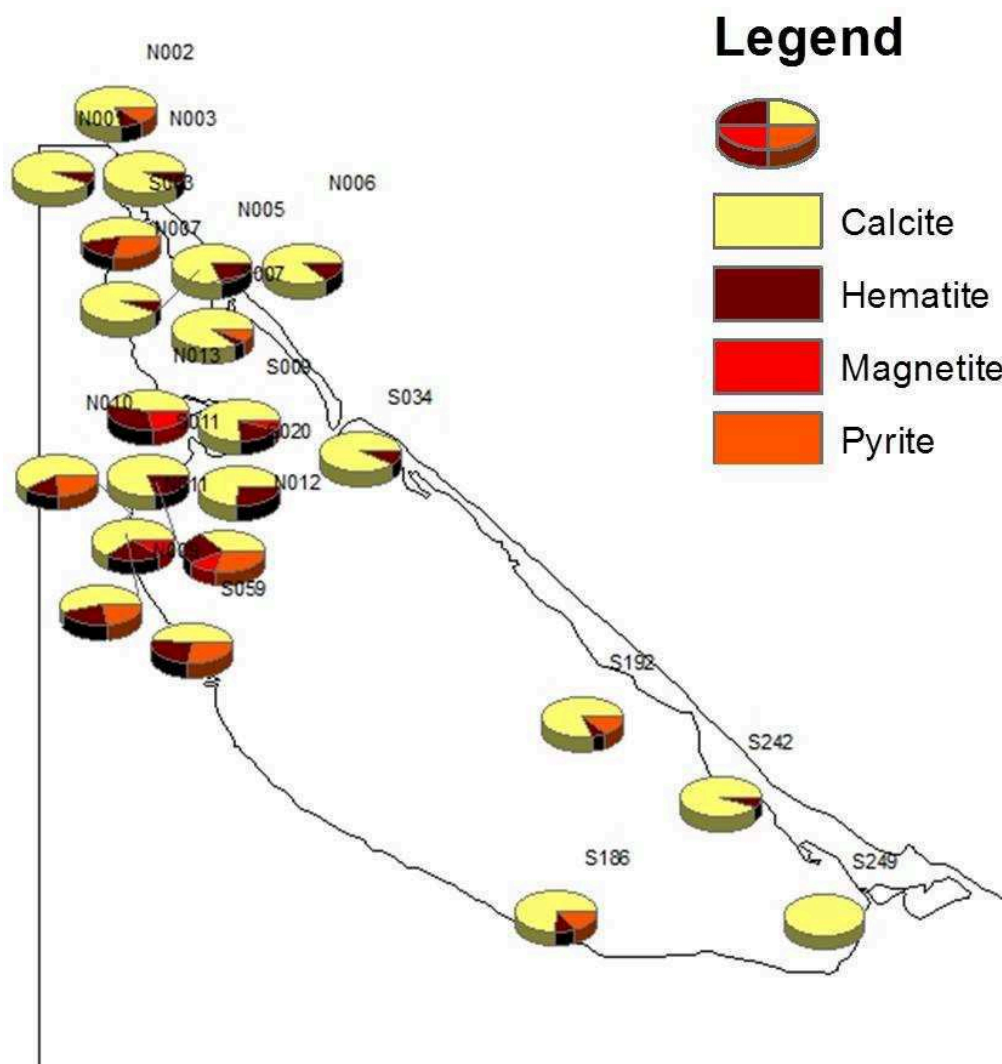


Figura 53 Distribuzione nella laguna dei seguneti minerali: Calcite, Ematite, Magnetite, Pirite.

In molti campioni è stata individuata la presenza di Zirconio, minerale accessorio presente in un'ampia tipologia di rocce e in particolare nelle rocce magmatiche felsiche (Lucci, 2011).

Nel campione S003 il picco più intenso è quello dell'Alite: l'area di prelievo è caratterizzata da una salinità maggiore rispetto al resto della laguna, media di 37.57 mg/l (Zine et al., 1998), a causa del confinamento che non permette un facile ricambio delle acque e alla mancanza di un corso d'acqua (Oued) rilevante che con le sue acque possa diluire la salinità di quell'area della laguna.

Alcune ricerche (Guelorget et al., 1987; El Alami et al., 1998; Majhoubi et al., 2003; Gonzales et al., 2007; Bloundi et al., 2009), per classificare l'origine del sedimento intra-lagunare, hanno fatto riferimento alla frazione argillosa, la cui composizione è

paragonabile ad un marker dell'area d'origine del sedimento. Le argille dominanti sono Illite (35-55%), Caolinite (15-30%), Smectite (0-35%) e Clorite (6-30%).

Illite e Caolinite sono sempre presenti ma dominanti nell'area meridionale: i due minerali possono avere origine dalle deposizioni del Quaternario del Gareb e della Piana del Bou Areg.

La Clorite è abbondante anche alle foci di O. Hali e O. Irzile, le cui acque portano sedimenti dal Kebdana.

La Smectite è abbondante nell'area settentrionale: l'arricchimento in Smectite può indicare una neoformazione in corso a seguito dell'alterazione dei suoli di origine vulcanica del Gourogou e del promontorio vulcanico dell'Attaloyoum (El Alami et al., 1998).

A tale proposito si è voluta valutare l'origine di due sedimenti che, a livello macroscopico risultano molto differenti, sebbene raccolti nella stessa area, a soli 2 km di distanza lungo la linea di costa tra Nador e il promontorio dell'Attaloyoum: il campione N009, di granulometria più fine, è composto da un sedimento di colore bruno-scuro, mentre il campione N013 è composto da una frazione fine con l'inclusione di clasti a spigolo vivo.

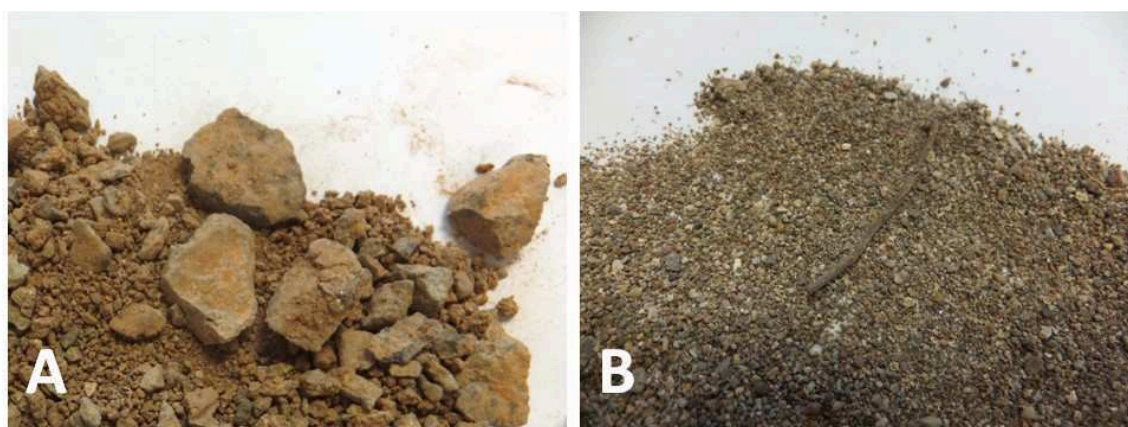


Figura 54 Il campione N013 (A) e il campione N009 (B).

Per isolare la frazione argillosa dal resto del sedimento si è utilizzato un metodo di separazione (Summa, 2000) che si basa sulla legge di Stokes [4], la quale si basa sulle differenti velocità di caduta di un corpo di forma sferica in un fluido:

[4]

$$D = \sqrt{\frac{18 \eta v}{\rho_s - \rho_l}}$$

Dove:

n = viscosità del fluido (dyne – sec/cm²)

v = velocità di caduta della sfera (cm/sec)

ρ_S = densità del solido (g/cm³)

ρ_l = densità del fluido (g/cm³)

D = diametro della sfera (cm)

Utilizzando la legge di Stokes si è calcolato il tempo di caduta del sedimento in un Baker riempito con acqua distillata MilliQ, fino a che in sospensione rimanesse solo la frazione argillosa (diametri di circa 0,001 mm). Con l'ausilio di una siringa privata dell'ago, si è aspirata la parte liquida con la sospensione di argilla e la si è depositata su una basetta in Silice. La basetta viene poi posta in un forno a 60° C, per facilitare l'evaporazione dell'acqua e la concentrazione del film di argilla sulla basetta. Una volta riempita tutta la superficie della basetta la stessa è stata analizzata mediante XRD a seguito dei seguenti step (Mirabella, 2000):

- Asciugatura del campione a 60° C per 1h
- Riscaldamento al forno a 110°C
- Solvatazione con glicol etilico a 60°C per 2h
- Riscaldamento al forno a 335°C per 2h
- Riscaldamento al forno a 550°c per 2h

Il risultato di tali trattamenti è visibile nei seguenti diffrattogrammi (Figg. 55 -56).

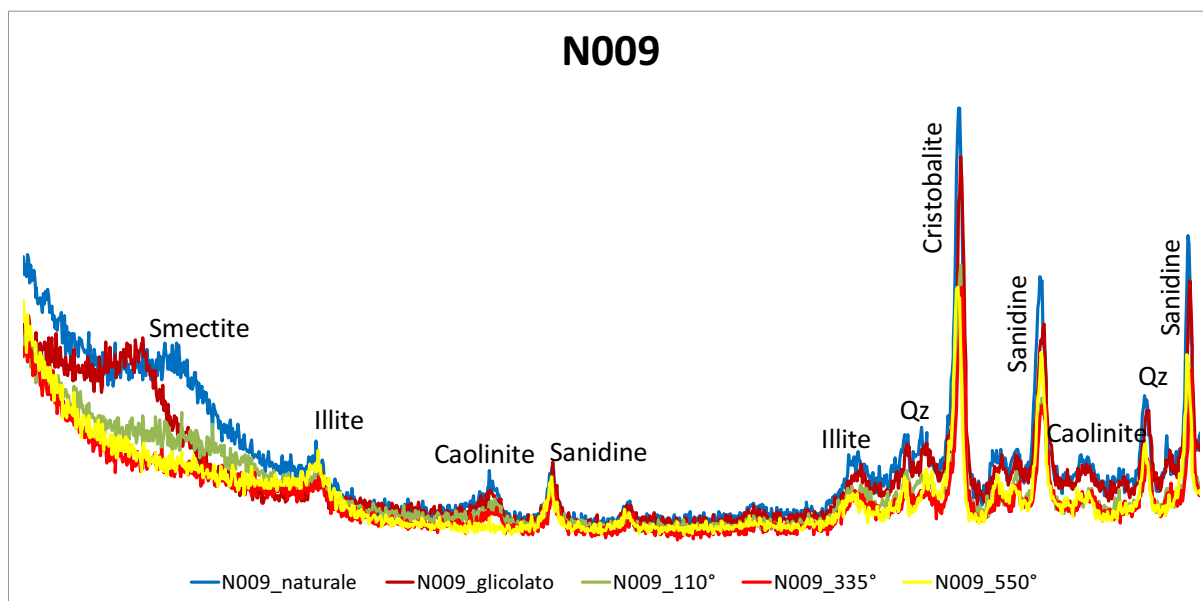


Figura 55 Sovrapposizione dei Diffrattogrammi del campione N009 naturale, glicolato, a 110°C, a 335°C, a 550°C.

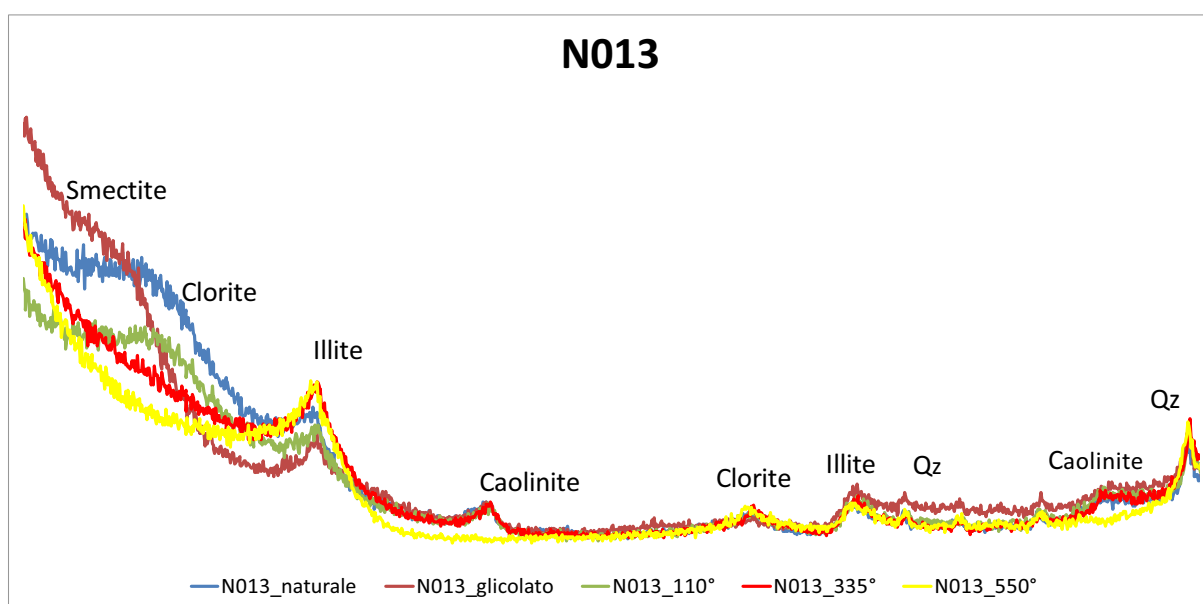


Figura 56 Sovrapposizione dei Diffrattogrammi del campione N013 naturale, glicolato, a 110°C, a 335°C, a 550°C.

Gli spettri mostrano due argille molto simili, dove i picchi della Smectite, Caolinite e Illite sono molto evidenti. La Clorite è presente in quantità minori e solo nel campione N013. Tali risultati sono in linea con la mineralogia delle argille dei sedimenti provenienti dalle pendici del Gourougou (associazione Smectite-Caolinite-Illite; Dakki et al., 2003), e indicano che i due campioni, nonostante le differenze macroscopiche hanno origine litologica comune, ma il campione N013 subisce anche l'influenza della litologia del promontorio dell'Attaloyoum, per cui l'argilla è composta anche da una piccola frazione di Clorite (Gonzales et al., 2007).

5.3 Le indagini geochemiche

Per indagare le caratteristiche geochemiche della laguna sono stati utilizzati i dati ottenuti con la Spettrometria XRF, il cui funzionamento è stato descritto nei capitoli precedenti.

Ricordiamo che i campioni raccolti sono in totale 60, appartengono tutti alle stratigrafie superficiali e sono stati ottenuti in due campionamenti differenti: i primi 48, denominati con la sigla S sono stati raccolti tra febbraio e luglio del 2010 dal team del Prof. Driss Nachite, mentre gli altri 12, contrassegnati dalla sigla N, sono stati raccolti dal Dot. Ahmed Ait Touchat lungo le sponde dell'area settentrionale della laguna, nel gennaio del 2013.

Grazie ad un'analisi multielementare quale la Spettrometria XRF, si è riusciti a determinare la composizione chimica totale dei campioni e rilevare sia gli elementi maggiori, espressi in percentuale in peso, e gli elementi in traccia, espressi in parti per milione, ppm (Tab. 10).

| Elementi maggiori in percentuale | Elementi in traccia in ppm |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| SiO ₂ | Ba |
| TiO ₂ | Ce |
| Al ₂ O ₃ | Co |
| Fe ₂ O ₃ | Cr |
| MnO | Cu |
| MgO | Ga |
| CaO | Hf |
| Na ₂ O | La |
| K ₂ O | Nb |
| P ₂ O ₅ | Nd |
| | Ni |
| | Pb |
| | Rb |
| | S |
| | Sc |
| | Sr |
| | Th |
| | V |
| | Y |
| | Zn |
| | Zr |

Tabella 9 Elenco degli elementi individuati mediante XRF Analyses.

La prima informazione ottenuta riguarda le abbondanze degli elementi (vedi Figg 57 e 58), facendo un confronto preliminare tra i valori medi di ogni elemento:

- elementi maggiori: abbondanza $\text{SiO}_2 > \text{CaO} > \text{Al}_2\text{O}_3$
- elementi in traccia: abbondanza $\text{Sr} > \text{Ba}$

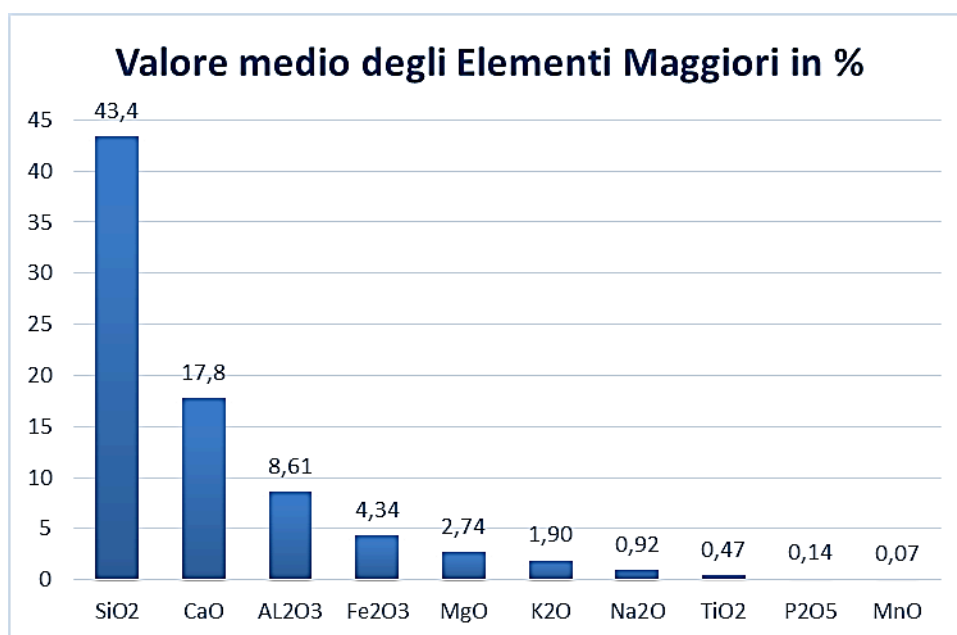


Figura 57 Istogramma dei valori medi degli Elementi Maggiori in percentuale.

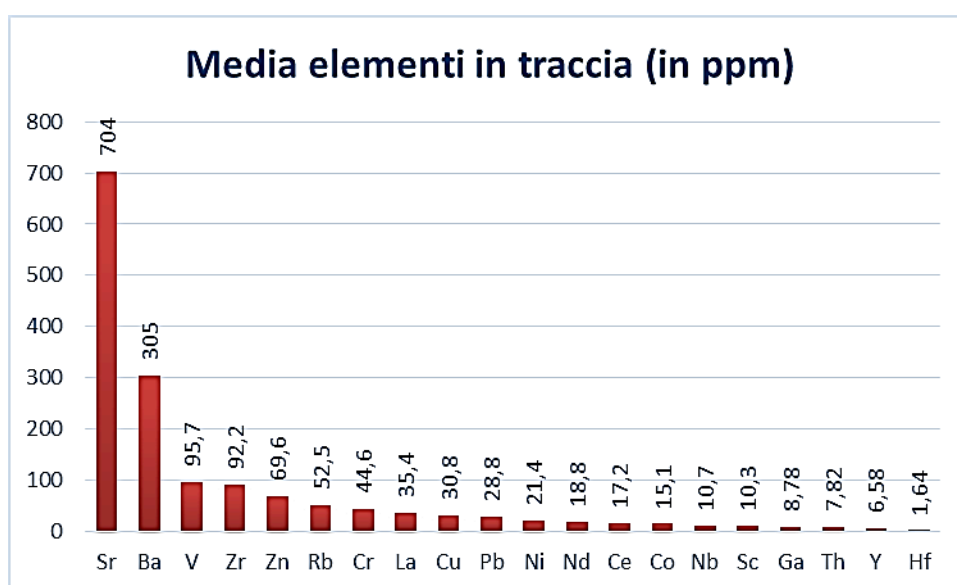
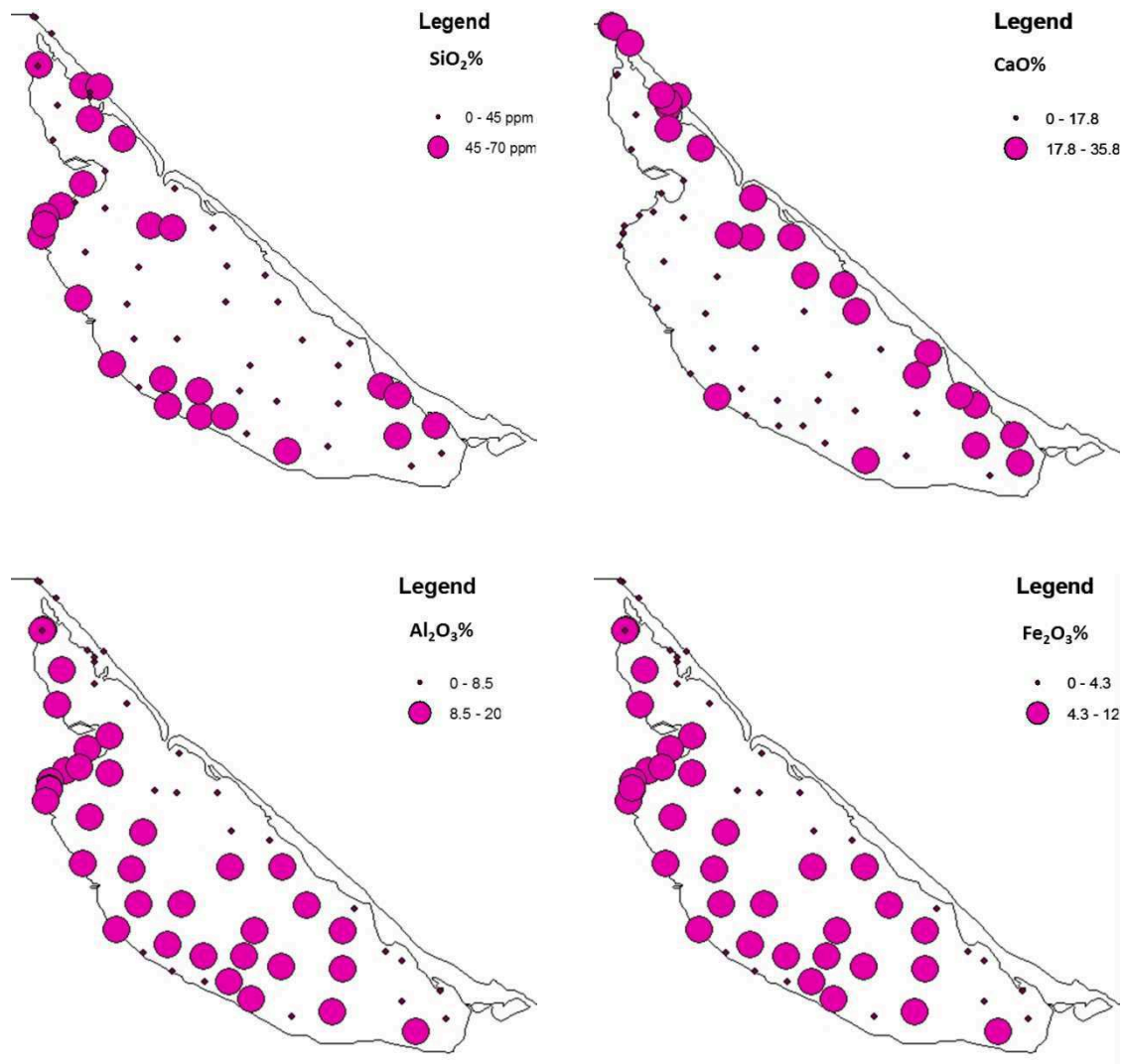


Figura 58 Istogramma dei valori medi per percentuale in peso degli elementi maggiori e presenza in ppm per gli elementi in traccia (per motivi di visualizzazione si è preferito escludere S >> Sr > Ba).

Per visualizzare correttamente la distribuzione geografica degli elementi maggiori, ci si è avvalsi dell'utilizzo della tecnologia GIS per l'elaborazione cartografica, con uso del software ArcGis, versione 9.3: nelle mappe che seguono (Fig.59), i campioni con valori superiori alla media sono indicati con il simbolo più grande.



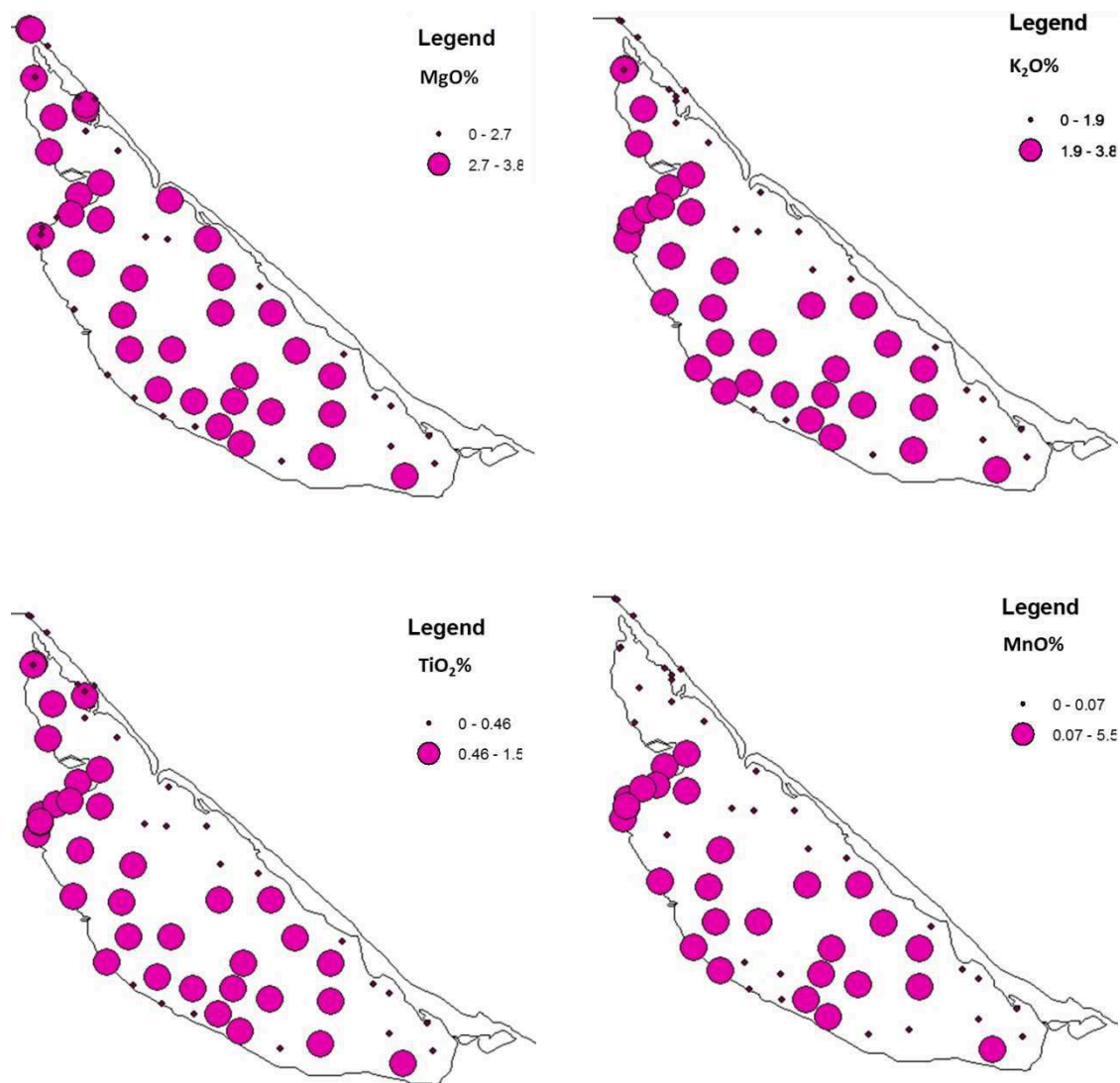


Figura 59 Mappe tematiche della distribuzione degli Elementi maggiori nella laguna di Nador.

Dalla lettura delle mappe tematiche si possono fare le seguenti valutazioni:

- i campioni più ricchi in SiO₂ sono generalmente quelli lungo la riva di costa interna;
- i campioni più ricchi in CaO sono quelli lungo il cordone litorale.

Ciò mette in luce come le due aree sedimentarie possano essere distinte in base alla distribuzione di questi due elementi.

Dalle mappe di distribuzione di Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O e TiO₂ si può vedere che i campioni ricchi in questi elementi siano sempre i medesimi, ovvero siano ripartiti nelle stesse aree. Invece Mg ed Mn non hanno un trend significativo.

Queste mappe coincidono solo parzialmente con i gruppi individuati grazie allo studio delle abbondanze mineralogiche (vedi Cap. 5.2).

Ad esempio il cordone litorale, che a livello mineralogico era inserito in due gruppi diversi (Gruppo I e Gruppo II) ha invece andamenti simili per quanto riguarda la geochimica generale. I campioni del Gruppo III al contrario sembrano mantenere la stessa compattezza, dimostrando come la litologia del Gourogou ha influenza dominante e la composizione di questi sedimenti sia la più distante da quella del resto della laguna.

Pertanto si è deciso di dividere la laguna in aree distinte, per valori chimici e posizione geografica. Si ritiene che la descrizione della componente geochimica attraverso la divisione in Gruppi possa essere la più esplicativa e rappresentativa della condizione geochimica e della zonizzazione che caratterizza tale laguna (Guelorget et al., 1987; Gonzales et al., 2007; Bloundi et al., 2009).

Di seguito riportiamo la cartina con la distribuzione geografica delle varie aree, denominate con lettere progressive da A ad F, con i corrispettivi punti di prelievo (Fig.60).

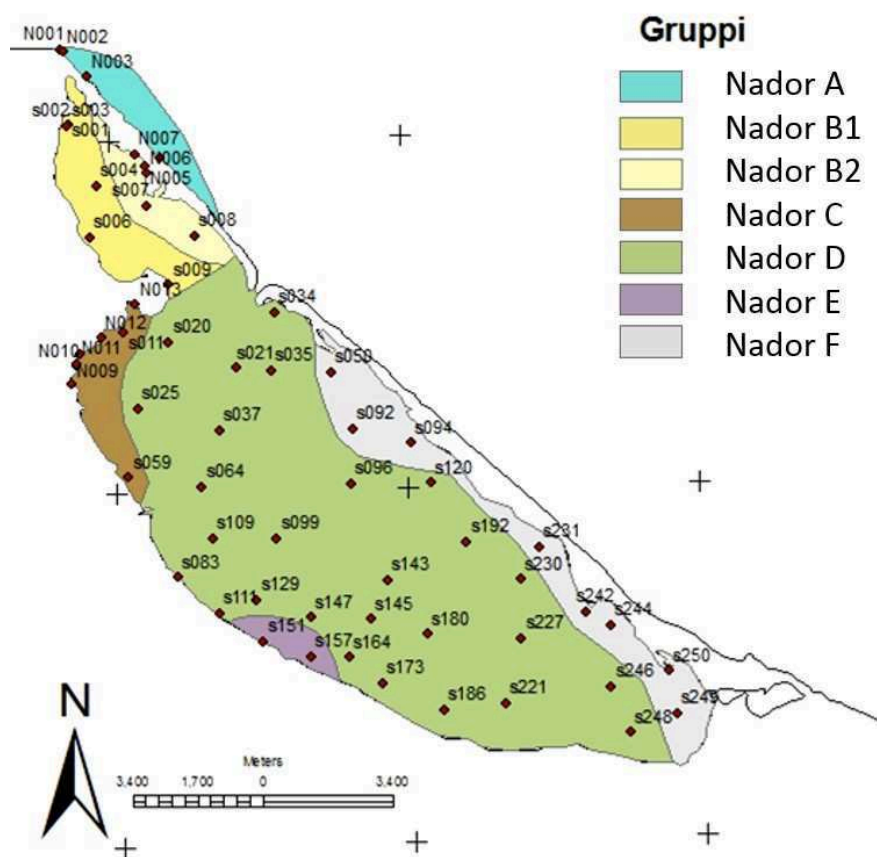


Figura 60 Le zone della lagune rilevate e la posizione dei vari Gruppi Geochimici.

Gruppo A: si tratta dei campioni raccolti al di fuori della laguna e lungo la spiaggia che si affaccia sul Mediterraneo.

Gruppo B1 e B2: questi due gruppi hanno la stessa dicitura in quanto appartenenti alla medesima area settentrionale, ma si distinguono per l'apporto primario del sedimento: B2 ha una composizione legata all'apporto del sedimento marino, mentre B1 è controllato dalla composizione dei sedimenti di origine continentale, che per lisciviazione scendono dalle pendici del Gourogou sino alla laguna. Nell'area B1 vi sono anche gli scarti di lavorazione di un'antica miniera attualmente in disuso.

Gruppo C: come B1 è fortemente influenzato dalle caratteristiche geochemiche e petrografiche del Gourogou, ma è altresì interessato dalle problematiche legate all'inquinamento urbano, in quanto si tratta della zona prospiciente Nador, la maggiore delle città affacciate sulla laguna.

Gruppo D: è il gruppo più esteso, sia in termini di area di campionamento che di quantità di campioni raccolti; si tratta della zona centrale della laguna, dove i sedimenti spesso hanno una composizione di passaggio dalle caratteristiche del sedimento di origine continentale al sedimento marino che penetra attraverso i canali di collegamento con il Mediterraneo.

Gruppo E: questo è il gruppo più piccolo: si tratta di due campioni raccolti in prossimità dell'immissione in laguna dell'Oued Selouane, il corso d'acqua dolce più importante per portata che attraversa tutta la Piana del Bou Areg, portando con sé i detriti e i reflui derivanti dall'agricoltura e dalle attività di allevamento.

Gruppo F: il gruppo si trova a sud della Bochana, il canale che collega la laguna al Mediterraneo, e si distribuisce lungo tutta la linea di costa fino alla città di Kariat.

5.3.1 Gli elementi maggiori

Si propone di seguito un grafico che mette in relazione i valori medi degli elementi maggiori in corrispondenza dei vari gruppi sopra elencati (Fig.61).

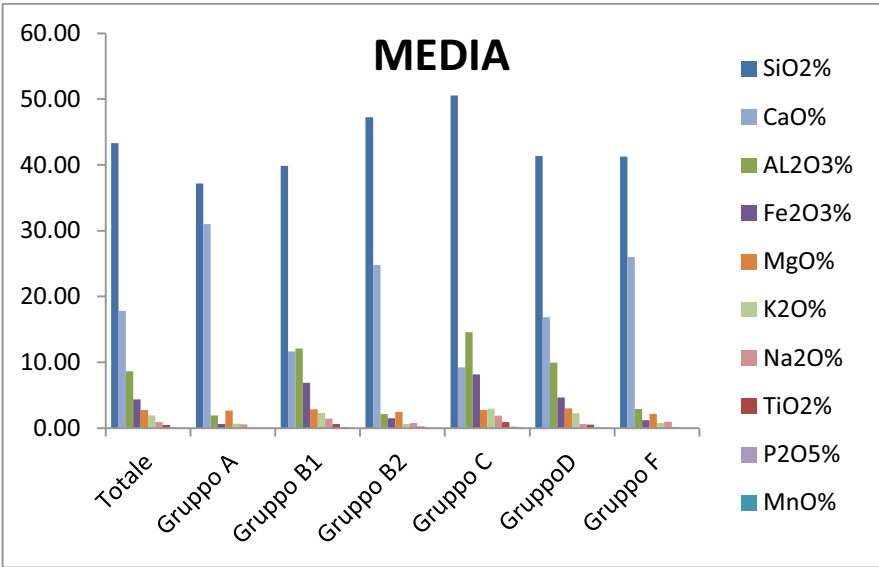
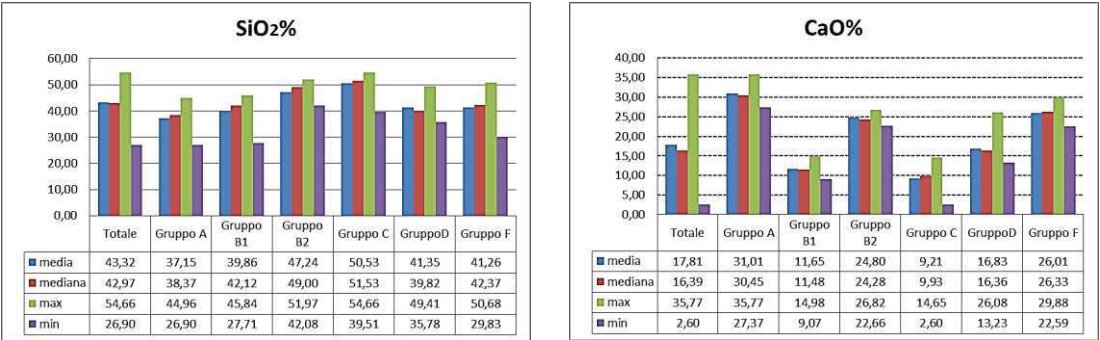


Figura 61 Distribuzione dei valori medi degli elementi maggiori espressi in % rispetto ai vari Gruppi. Il Gruppo E non fornisce un sufficiente numero di campionature per un dato statistico realmente accettabile, perciò non viene visualizzato.

Rispetto alla composizione media totale i Gruppi B2 e C sono quelli con il più alto contenuto in SiO₂; i gruppi A ed F hanno il contenuto maggiore in CaO; mentre i gruppi B1 e C sono i più ricchi in Al₂O₃.

Per una migliore trattazione e confronto degli elementi maggiori, si propongono grafici in cui si descrivono le medie, mediane e valori massimi e minimi per ciascun elemento in base ai vari Gruppi (Fig.62).



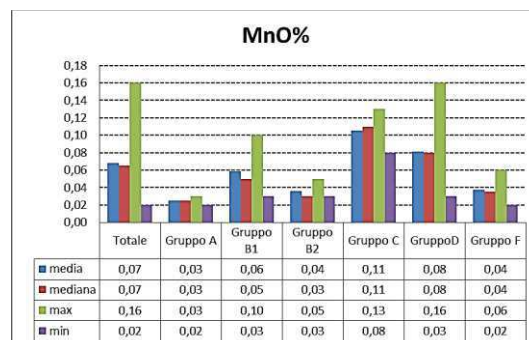
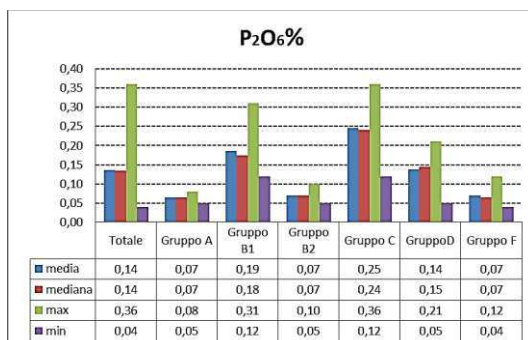
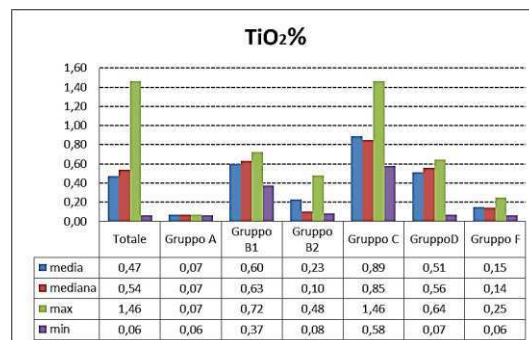
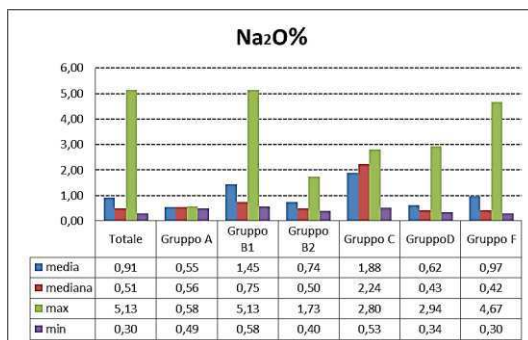
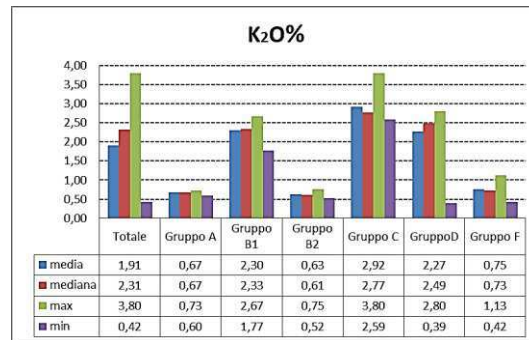
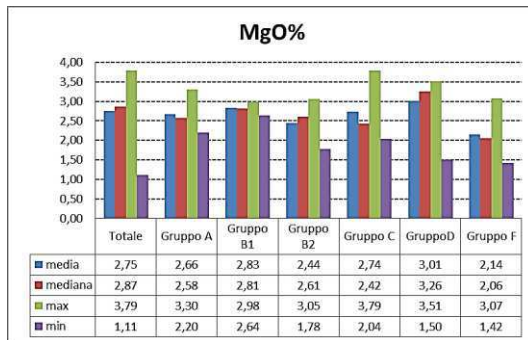
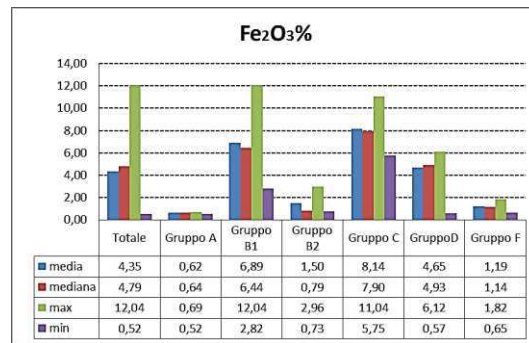
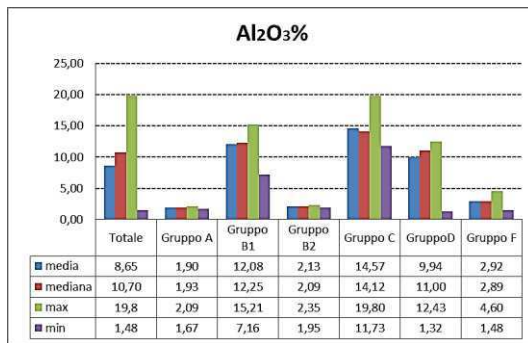


Figura 62 Istogrammi degli elementi maggiori divisi in Gruppi, con media, mediana, valore massimo e valore minimo.

SiO₂ ed MgO hanno minime variazioni nei diversi Gruppi.

La stessa cosa vale per Na_2O che ricordiamo, per evitare che l'elevata salinità impedisse una regolare acquisizione dei dati, i campioni sono stati pretrattati mediante lavaggi in acqua distillata MilliQ e pertanto il sodio presente in fasi minerali solubili, come i sali di NaCl , è stato dilavato. Si può supporre che il Gruppo C abbia un tenore mediamente maggiore in Na_2O poiché ereditato da una fase poco solubile.

- Nel complesso i Gruppi A, B2 ed F hanno sempre lo stesso andamento: sono i più ricchi in CaO e i più poveri in Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , TiO_2 , P_2O_6 ed MnO . L'andamento comune indica la presenza di una composizione geochimica, dove l'influenza del **sedimento marino** è dominante.
- Anche i Gruppi B1 e C hanno un andamento omogeneo ed inverso ai precedenti: sono i più ricchi in SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , TiO_2 , P_2O_6 ed MnO ma più poveri in CaO ; qui la **litologia del complesso del Gourogou** è dominante.
- Il gruppo D ha valori intermedi tra le due aree sopra indicati, ma si ricorda che in quest'area vi è una forte influenza del **sedimento marino** da una parte e del **sedimento continentale** che per azione erosiva arriva in laguna.

Già da questi grafici si può evidenziare quali siano le macro aree (Fig.63):

1. caratterizzate da sedimenti di natura silicatica di origine continentale (Gruppi B1 e C e il micro Gruppo E);
2. sedimenti che hanno un'origine prettamente marina (Gruppi A, B1, F) e che si trovano lungo il cordone litorale e l'interno della laguna;
3. sedimenti relativi all'area intralagunare (Gruppo D).

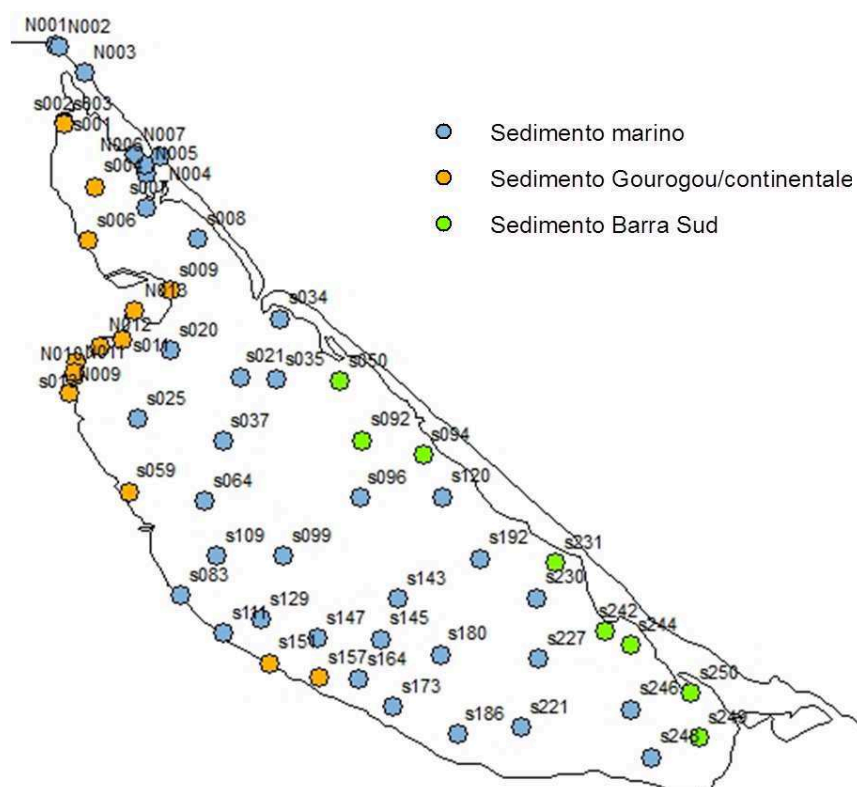


Figura 63 Mapa tematica in cui sono indicati i macrogruppi per dominanza di sedimento.

| | SiO2% | TiO2% | Al2O3% | Fe2O3% | MnO% | MgO% | CaO% | Na2O% | K2O% | P2O5% |
|--------|-------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------|--------------|-------|-------------|-------|
| SiO2% | 1 | | | | | | | | | |
| TiO2% | 0,13 | 1 | | | | | | | | |
| Al2O3% | 0,04 | 0,90 | 1 | | | | | | | |
| Fe2O3% | 0,11 | 0,92 | 0,92 | 1 | | | | | | |
| MnO% | -0,04 | 0,74 | 0,72 | 0,72 | 1 | | | | | |
| MgO% | -0,64 | 0,40 | 0,52 | 0,43 | 0,46 | 1 | | | | |
| CaO% | -0,37 | -0,81 | -0,89 | -0,83 | -0,56 | -0,21 | 1 | | | |
| Na2O% | 0,23 | 0,13 | 0,01 | 0,05 | -0,01 | -0,44 | -0,24 | 1 | | |
| K2O% | -0,03 | 0,86 | 0,95 | 0,85 | 0,76 | 0,52 | -0,82 | 0,00 | 1 | |
| P2O5% | -0,02 | 0,73 | 0,71 | 0,70 | 0,60 | 0,30 | -0,67 | 0,40 | 0,77 | 1 |

Figura 64 Tabella di Correlazione tra gli Elementi Maggiori.

La Tabella di Correlazione degli elementi maggiori (Figg.64, 65) mostra come SiO₂ non sia correlato con nessuno degli altri elementi.

CaO è correlato negativamente con TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ e K₂O: tale valore è coerente con la distribuzione geografica dei dati mostrata in precedenza.

Al₂O₃, Fe₂O₃ e TiO₂ sono molto correlati tra loro, con coefficienti di correlazione superiori allo 0,9: probabilmente questi elementi sono associabili alle stesse fasi mineralogiche. Essi sono tipici elementi che compongono i minerali argillosi.

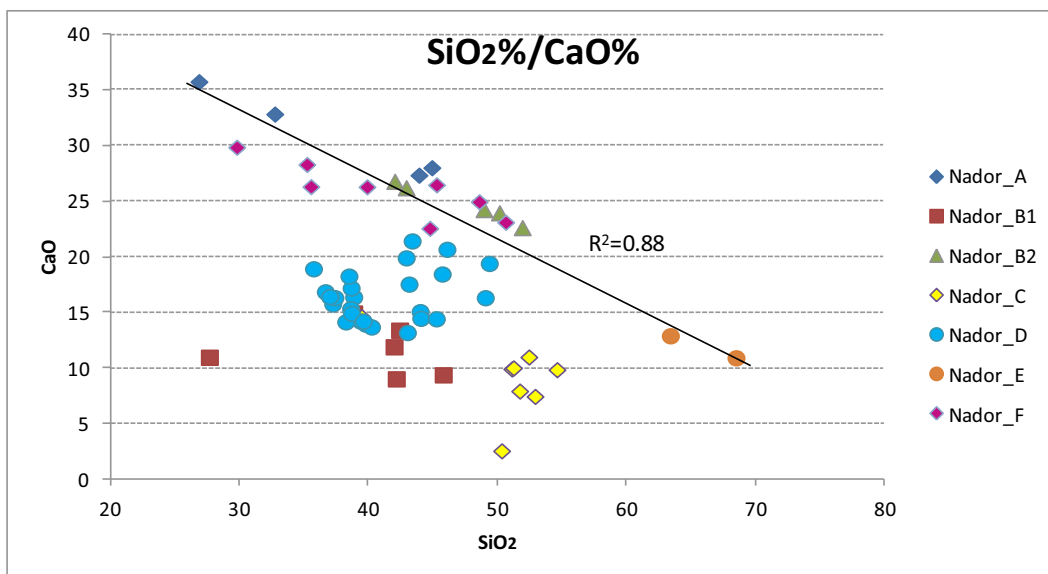


Figura 65 Diagramma binario SiO₂%/CaO%

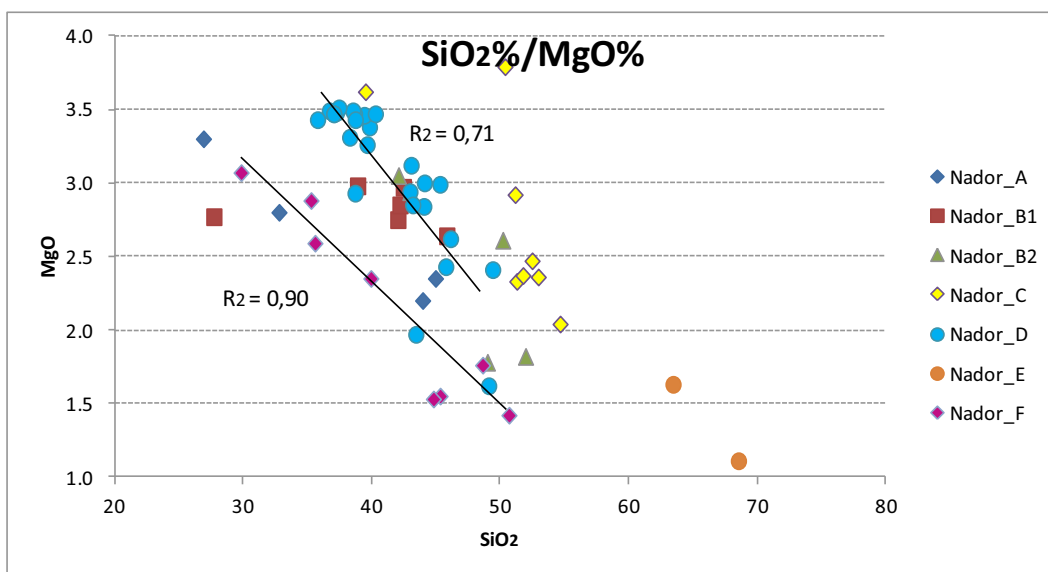


Figura 66 Diagramma binario SiO₂%/MgO%

Secondo la tabella di Correlazione SiO₂ non è correlato con nessun elemento ma, grazie ai diagrammi binari, è possibile mettere in evidenza come esso sia comunque correlato con CaO nei gruppi A, B2, F ed E, con un coefficiente di correlazione di 0,88, ed è inoltre correlato con MgO per il gruppo F con un coefficiente di 0,9 e per il gruppo D con un coefficiente di 0,71.

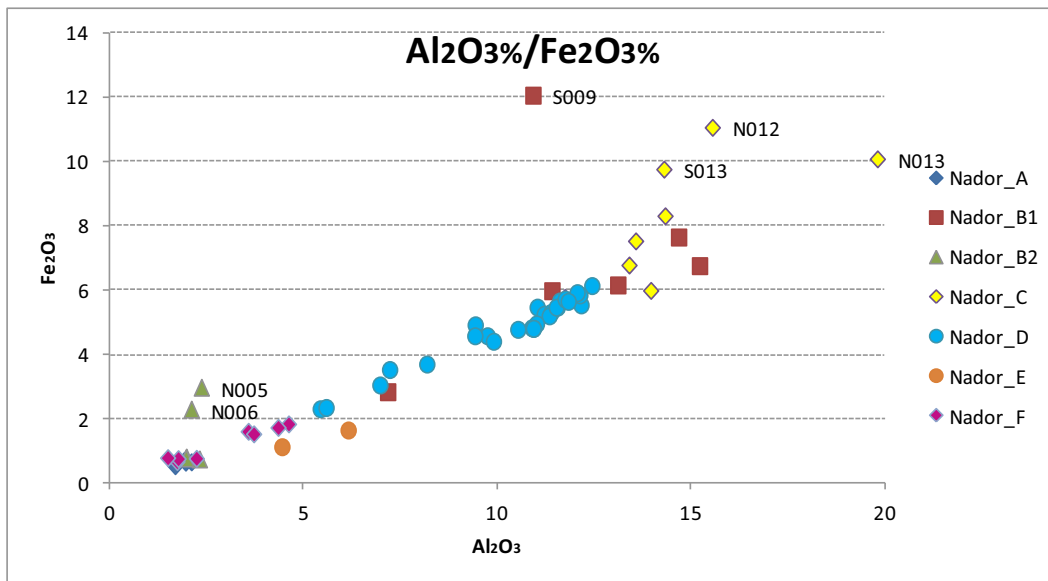


Figura 67 Diagramma binario Al₂O₃%/Fe₂O₃%.

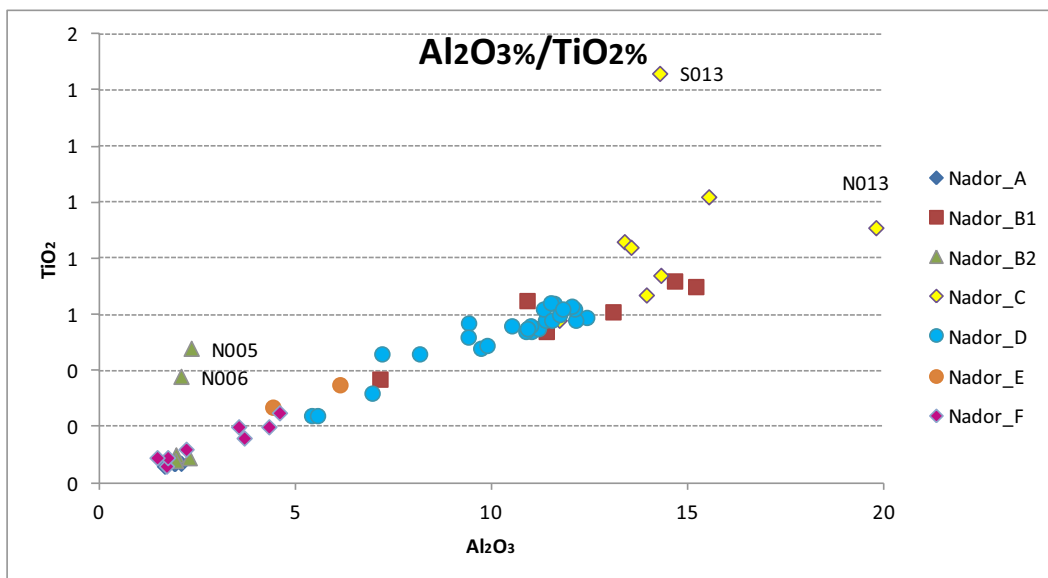


Figura 68 Diagramma binario Al₂O₃%/TiO₃%.

I diagrammi a dispersione mostrano chiaramente le correlazioni tra Al₂O₃ ed Fe₂O₃ e tra Al₂O₃ e TiO₂.

Nei grafici vengono messi in evidenza i campioni che si discostano dal trend:

- i campioni N005 ed N006 del Gruppo B2, sui resti dell'antico delta tidale sono quelli che hanno una composizione granulometrica differente dagli altri campioni del

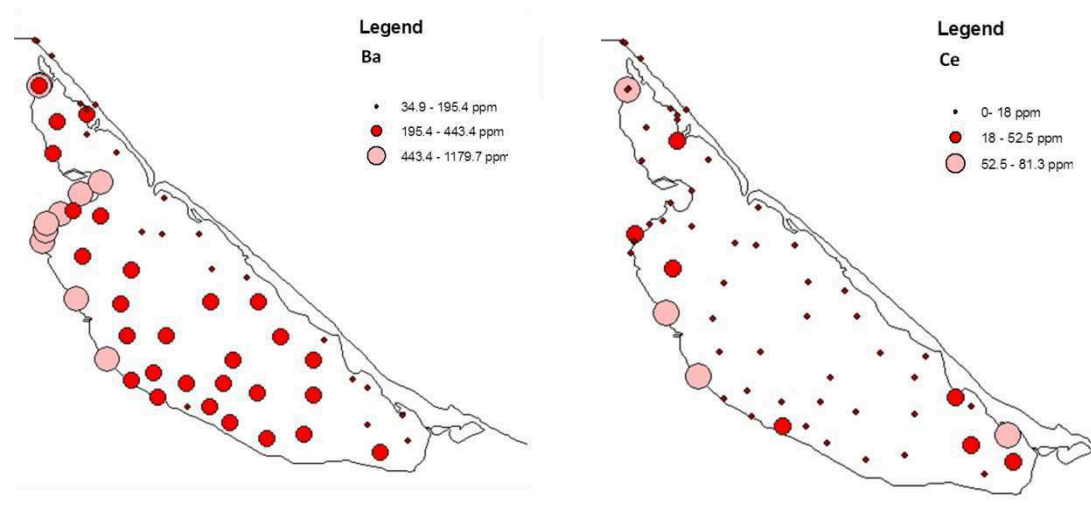
Gruppo, probabilmente perché sono sedimenti provenienti da stratigrafie non attuali, vista la forte azione erosiva che interessa l'area;

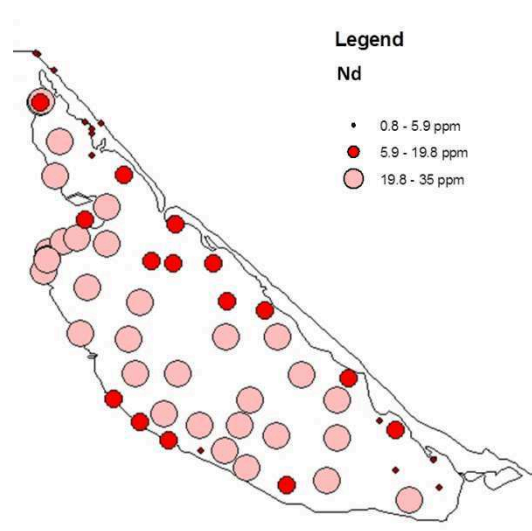
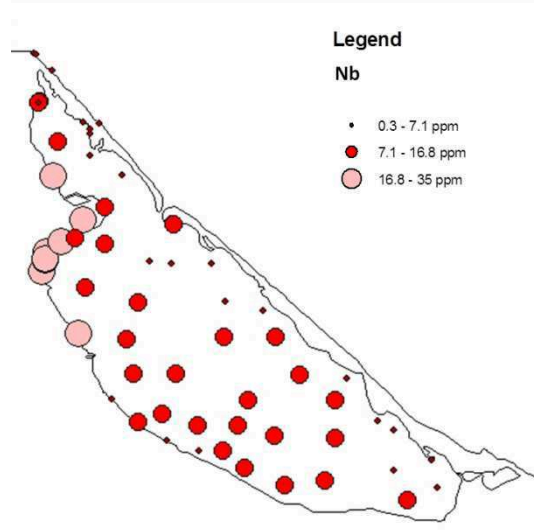
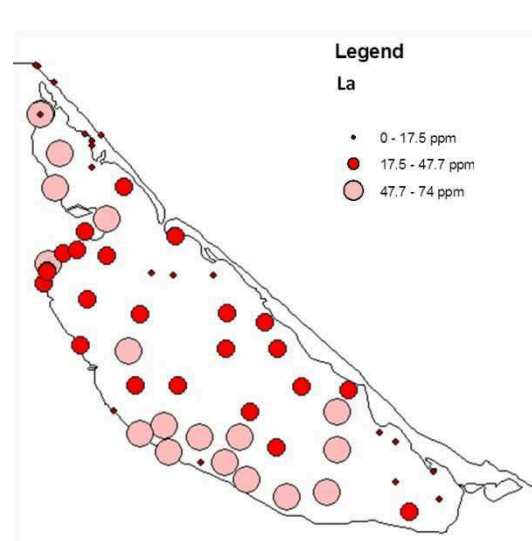
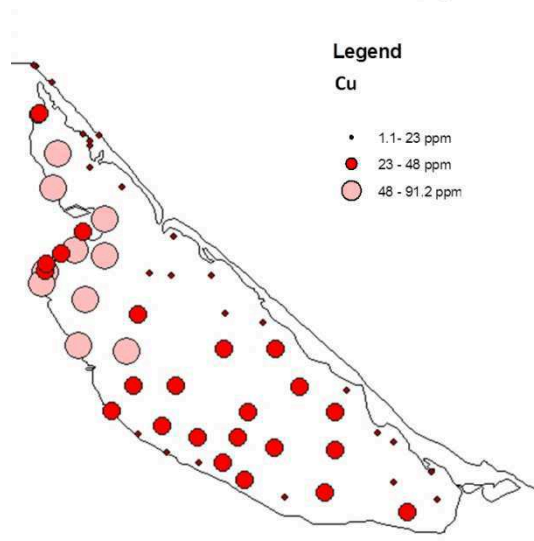
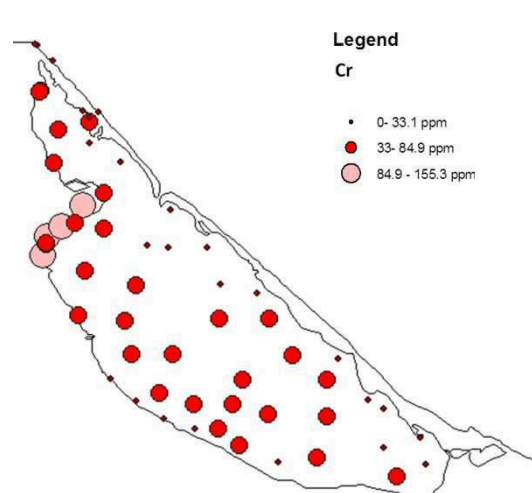
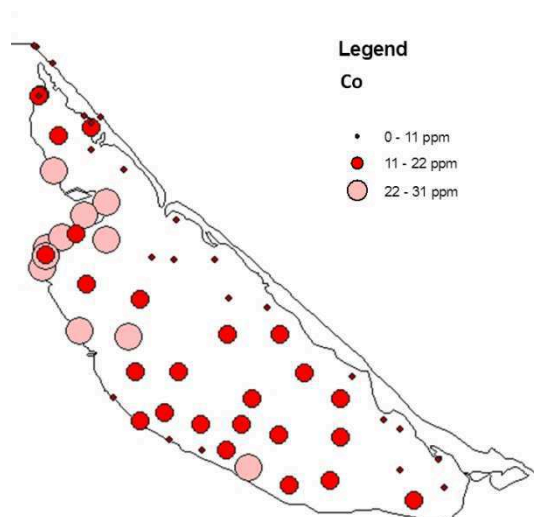
- il campione S009 è il più prossimo alle aree dismesse dell'antica miniera di estrazione del ferro e nella sua composizione mineralogica erano presenti sia l'Ematite che la Magnetite, ragion per cui è comprensibile che tale campione sia il più ricco in Fe_2O_3 ;
- i campioni N013, N012 ed S013 sono collocati lungo la sponda tra Nador e il promontorio dell'Attaloyoum.

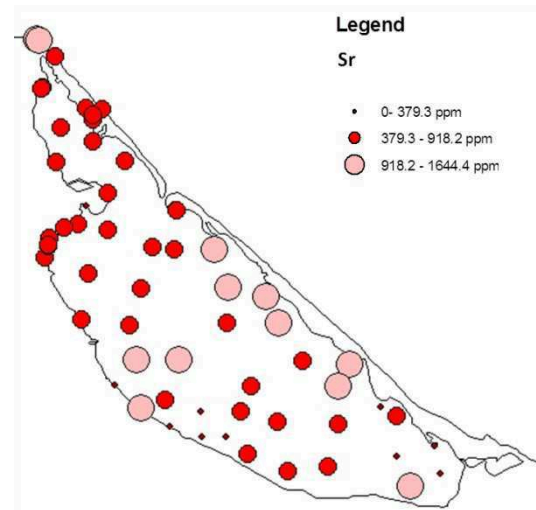
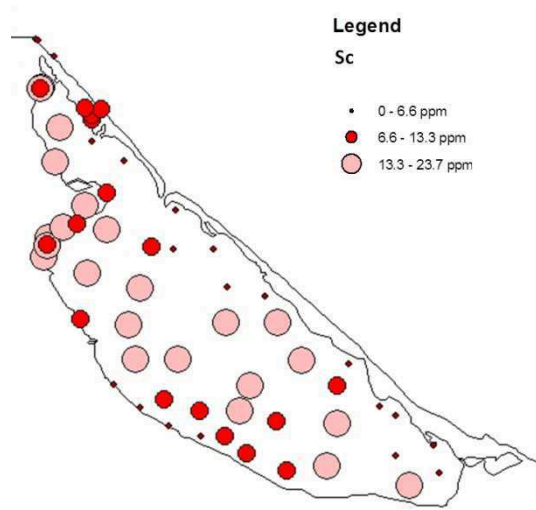
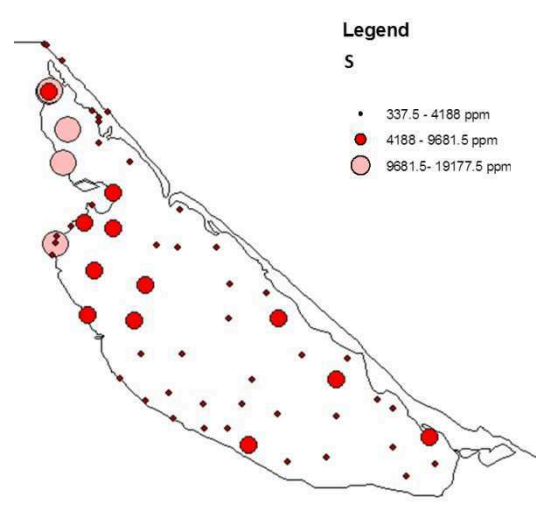
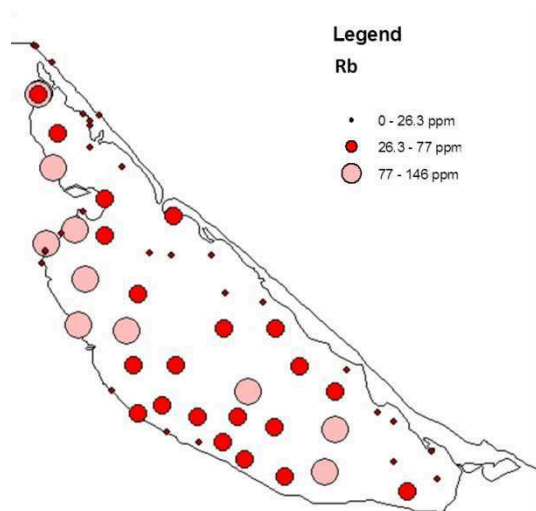
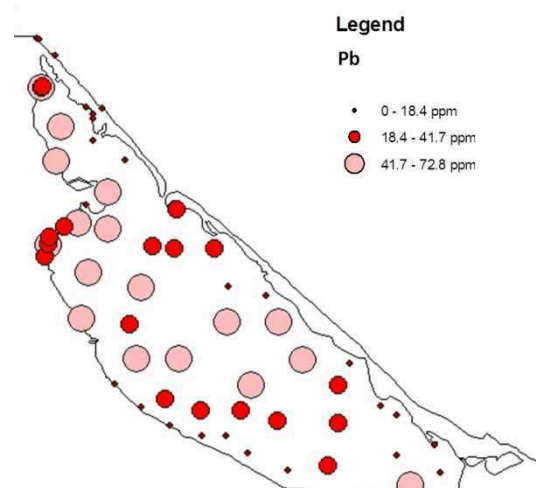
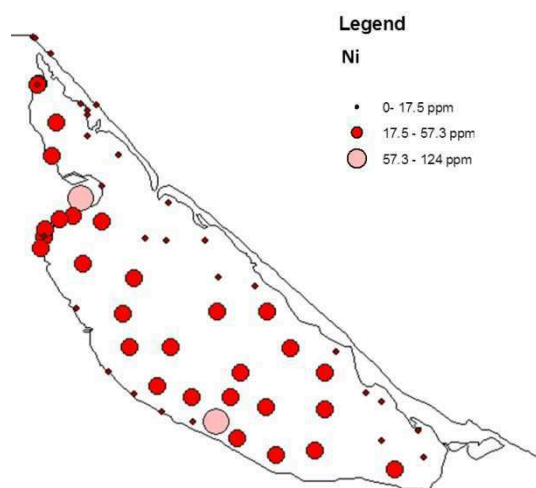
5.3.2 Gli elementi in traccia

Grazie alla metodologia analitica utilizzata, ovvero l'Analisi XRF, si sono rilevati i seguenti elementi in traccia: Ba, Ce, Co, Cr, Cu, Ga, Hf, La, Nd, Nb, Ni, Pb, Rb, S, Sc, Sr, Th, V, Y, Zn, Zr.

Anche in questa trattazione faremo riferimento ai Gruppi in cui è stata suddivisa la laguna di Nador, elencati nel precedente capitolo. Per una visione d'insieme sulla distribuzione geografica dei vari elementi, sono state create delle cartografie tematiche (Fig.69).







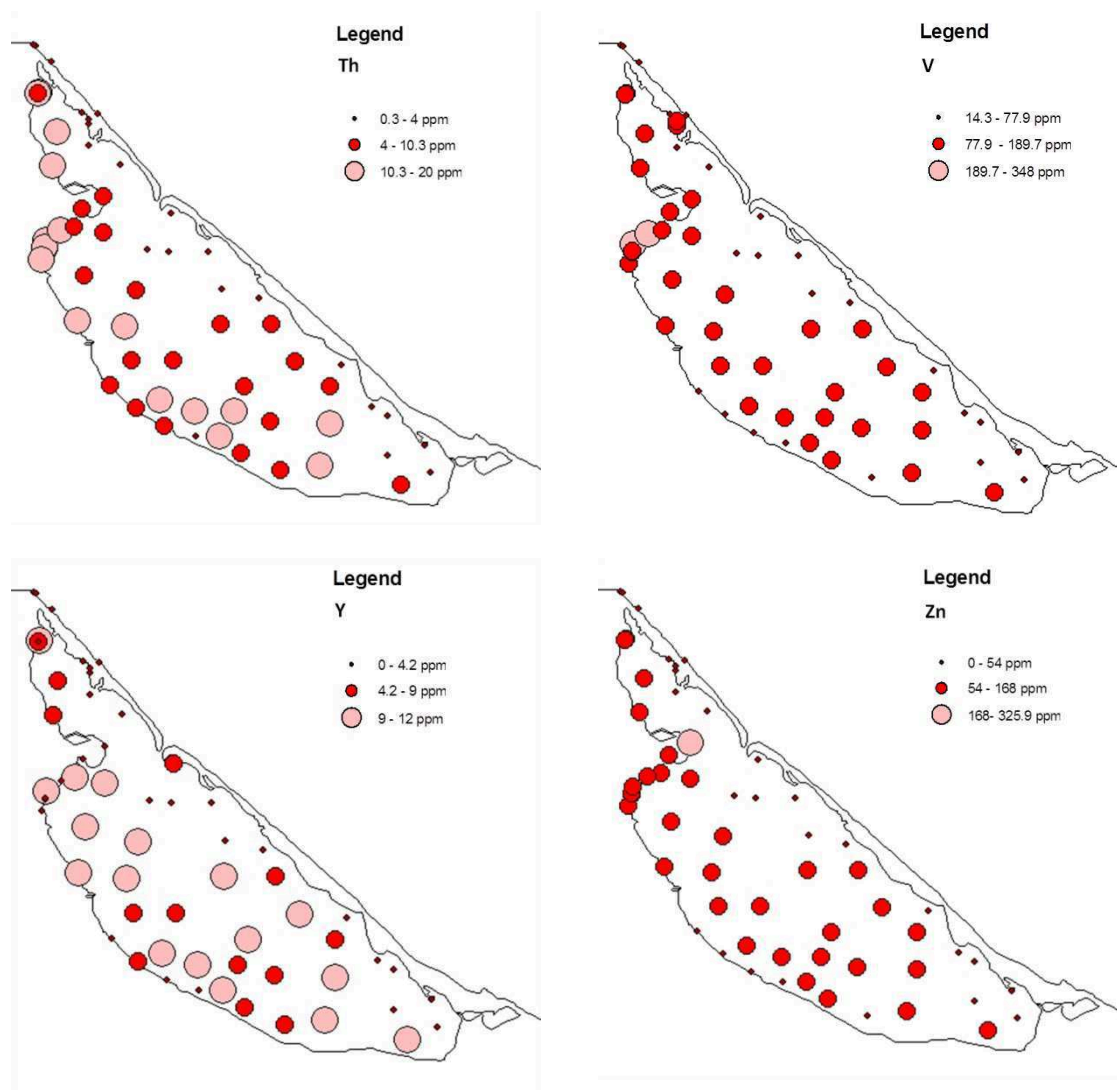


Figura 69 Mappe tematiche della distribuzione degli Elementi in traccia nella laguna di Nador.

Gli elementi in traccia, differentemente da quelli maggiori, sono meno comparabili alla posizione geografica. Tuttavia si può notare:

- Gruppo C: caratterizzato da campioni ricchi in molti elementi in traccia, quali, Ba, Co, Cr, Cu, Ga, Nb, Nd, Ni, Sc, Th, V.
- Gruppi A, B2 e F, ovvero i campioni che si trovano lungo il cordone litorale e la spiaggia, sono generalmente poveri in Ba, Co, Cr, Cu, Nb, Ni, Rb, Th, Y, Zn; gli stessi campioni sono poveri in Sc e V, ma fanno eccezione i campioni raccolti nell'antico delta tidale, in particolare i campioni N005 ed N006 del Gruppo B2.
- In generale l'area meridionale della laguna tende ad essere meno arricchita in elementi rari rispetto a quella settentrionale, è ciò è proporzionale alla distanza dal massiccio del Gourogou a nord.

| | SiO ₂ % | TiO ₂ % | Al ₂ O ₃ % | Fe ₂ O ₃ % | MnO% | MgO% | CaO% | Na ₂ O% | K ₂ O% | P ₂ O ₅ % | Ba | Co | Cr | Cu | Ga | La | Nb | Nd | Ni | Pb | S | Sc | Sr | Th | V | Zn |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|------|------|------|--------------------|-------------------|---------------------------------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| SiO ₂ % | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TiO ₂ % | 0.2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Al ₂ O ₃ % | 0.1 | 0.9 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fe ₂ O ₃ % | 0.1 | 0.9 | 0.9 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MnO% | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MgO% | -0.6 | 0.4 | 0.5 | 0.4 | 0.1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CaO% | -0.4 | -0.8 | -0.9 | -0.8 | -0.1 | -0.2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Na ₂ O% | 0.2 | 0.0 | -0.1 | 0.0 | -0.1 | -0.5 | -0.2 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| K ₂ O% | 0.0 | 0.9 | 1.0 | 0.9 | 0.1 | 0.5 | -0.8 | -0.1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P ₂ O ₅ % | 0.0 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.1 | 0.3 | -0.7 | 0.3 | 0.8 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ba | 0.3 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.0 | 0.2 | -0.8 | 0.1 | 0.7 | 0.6 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Co | -0.1 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.1 | 0.6 | -0.7 | -0.3 | 0.8 | 0.6 | 0.7 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| Cr | 0.1 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 0.1 | 0.5 | -0.8 | 0.1 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 1 | | | | | | | | | | | | | |
| Cu | -0.1 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.0 | 0.6 | -0.7 | -0.1 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.8 | 0.6 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| Ga | -0.1 | 0.8 | 0.9 | 0.8 | 0.1 | 0.7 | -0.8 | -0.2 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 1 | | | | | | | | | | | |
| La | 0.0 | 0.6 | 0.7 | 0.6 | 0.2 | 0.4 | -0.5 | -0.3 | 0.6 | 0.4 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 1 | | | | | | | | | | |
| Nb | 0.2 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 0.1 | 0.4 | -0.7 | 0.0 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.6 | 0.8 | 0.5 | 1 | | | | | | | | | |
| Nd | 0.0 | 0.8 | 0.9 | 0.8 | 0.1 | 0.5 | -0.8 | -0.2 | 0.9 | 0.7 | 0.6 | 0.9 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 0.8 | 0.7 | 1 | | | | | | | | |
| Ni | -0.1 | 0.6 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.6 | -0.6 | -0.3 | 0.6 | 0.3 | 0.5 | 0.6 | 0.6 | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 1 | | | | | | | |
| Pb | -0.3 | 0.5 | 0.7 | 0.7 | 0.0 | 0.6 | -0.5 | -0.2 | 0.7 | 0.6 | 0.4 | 0.7 | 0.5 | 0.9 | 0.8 | 0.4 | 0.5 | 0.7 | 0.3 | 1 | | | | | | |
| S | -0.3 | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 0.0 | 0.2 | -0.4 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.6 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.1 | 0.5 | 1 | | | | | |
| Sc | -0.1 | 0.8 | 0.9 | 0.8 | 0.1 | 0.7 | -0.7 | -0.2 | 0.8 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.9 | 0.5 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.7 | 0.3 | 1 | | | | |
| Sr | -0.6 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | 0.5 | 0.4 | -0.5 | 0.0 | -0.1 | -0.2 | 0.2 | -0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.1 | -0.1 | 0.2 | 0.0 | 0.1 | 1 | | | |
| Th | 0.1 | 0.9 | 0.9 | 0.8 | 0.1 | 0.3 | -0.8 | 0.1 | 0.9 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.9 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 0.7 | -0.1 | 1 | | |
| V | 0.0 | 1.0 | 0.8 | 0.9 | 0.1 | 0.4 | -0.7 | 0.0 | 0.8 | 0.7 | 0.7 | 0.9 | 0.9 | 0.7 | 0.8 | 0.5 | 0.8 | 0.8 | 0.5 | 0.6 | 0.3 | 0.8 | 0.0 | 0.8 | 0.7 | 1 |
| Zn | -0.2 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.1 | 0.5 | -0.7 | -0.2 | 0.8 | 0.6 | 0.6 | 0.8 | 0.5 | 0.9 | 0.7 | 0.6 | 0.6 | 0.8 | 0.4 | 0.9 | 0.5 | 0.7 | 0.1 | 0.7 | 0.7 | 1 |
| Zr | 0.1 | 0.8 | 0.8 | 0.7 | 0.2 | 0.3 | -0.7 | -0.1 | 0.7 | 0.6 | 0.7 | 0.8 | 0.7 | 0.6 | 0.7 | 0.7 | 0.8 | 0.8 | 0.5 | 0.5 | 0.2 | 0.6 | 0.1 | 0.8 | 0.7 | 0.6 |

Figura 70 Tabella di correlazione di tutti gli elementi: i valori sono espressi solo con il primo decimale per motivi di spazio.

Dalla visione della tabella di Correlazione di tutti gli elementi (Fig.70) si può dedurre che:

- SiO₂ non è correlato con nessun elemento.
- Ti₂O, Al₂O₃, Fe₂O₃ sono correlati positivamente con molti elementi in traccia: Ba, Co, Cr, Cu, Ga, Nb, Nd, Sc, V, Zr.
- Molto interessante la correlazione di K₂O: oltre ad essere correlato positivamente con gli elementi precedentemente elencati è l'unico elemento maggiore ad essere correlato positivamente con il Pb.
- CaO è correlato negativamente con molti elementi in traccia: Ba, Cr, Cu, Ga, Nb, Nd, Th e V: questi sono gli elementi che dalla visione delle carte tematiche risultano essere meno concentrati nella fascia del cordone litorale.
- Ni, S, e Sr non appaiono correlati con nessun elemento.

Alla luce di quanto detto si propone di seguito una serie di grafici a dispersione in cui si evidenziano i rapporti tra SiO₂, CaO e Al₂O₃ con i seguenti elementi in traccia: Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn. Gli elementi sono stati scelti con il seguente criterio: SiO₂ è l'elemento più abbondante nei campioni, CaO è il secondo elemento per abbondanza e, dalla matrice di correlazione, si riscontra che è l'unico elemento che ha correlazioni negative; infine Al₂O₃ è un elemento importante, poiché la sua concentrazione è associabile alla presenza di argille (Di Giuseppe, 2010), perciò è rapportabile alla granulometria. Da

letteratura si sa che le argille sono potenzialmente le frazioni granulometriche più inclini ad arricchirsi in metalli in traccia, e quindi potenzialmente più esposte a rischio di accumulo e inquinamento: nel caso della laguna di Nador, le fasi argillose maggiormente presenti sono Illite e Smectite, che hanno alta capacità di assorbire Cd, Cu, Pb, Zn e Ni (Gonzales et al., 2006).

In seguito si confronteranno i valori riscontrati rispetto alle normative vigenti in Italia, nelle quali si fa riferimento ai valori accettabili rispetto al comparto sedimentario terrigeno:

- DM 471/99, Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale
- Dlgs 219/10, Attuazione della direttiva 2008/105/CE relativa a standard di qualità ambientale nel settore della politica delle acque
- D.M. Ambiente 56/2009, Standard di qualità ambientali per le acque superficiali
- Cr, Cu, Ni, Pb, V e Zn.

Poichè il Dlgs 219/10 ingloba parte delle definizioni del DM 471/99 e le implementa, ai fini della trattazione faremo riferimento solo al Dlgs 219/10 e al D.M. Ambiente 56/2009.

Gli elementi che verranno trattati sono Cr, Cu, Ni, Pb, V e Zn, importanti per comprendere lo stato qualitativo del comparto terrigeno sedimentario e per cui vi sono indicati con precisione i limiti di legge.

Cromo

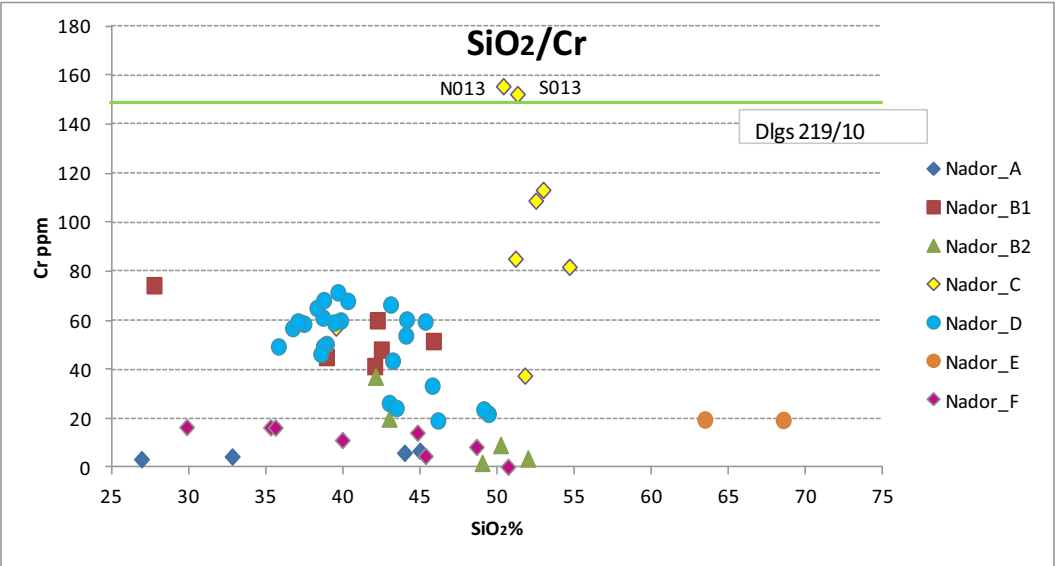


Figura 71 Diagramma binario SiO₂/Cr.

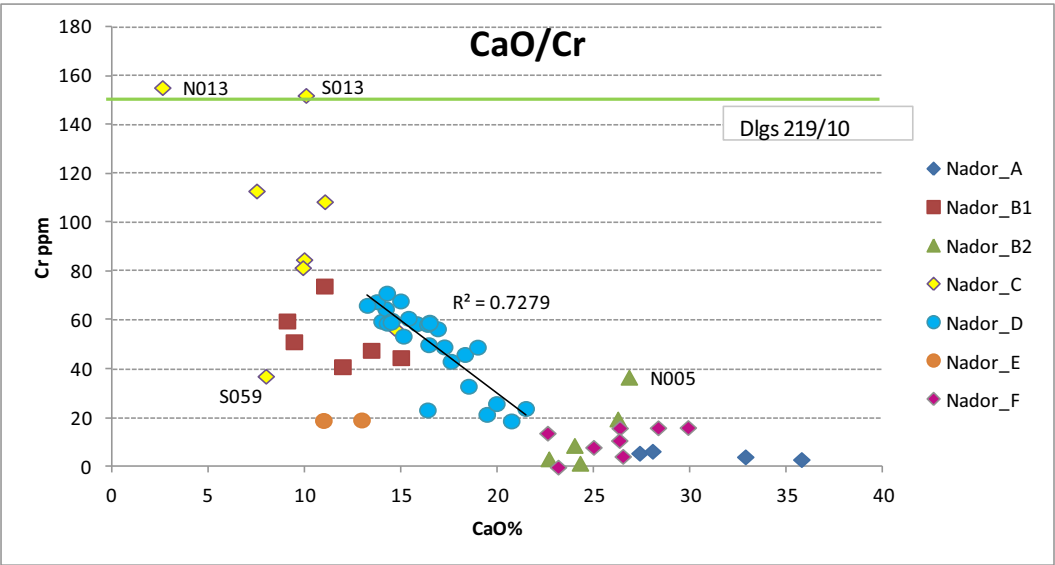


Figura 72 Diagramma binario CaO/Cr.

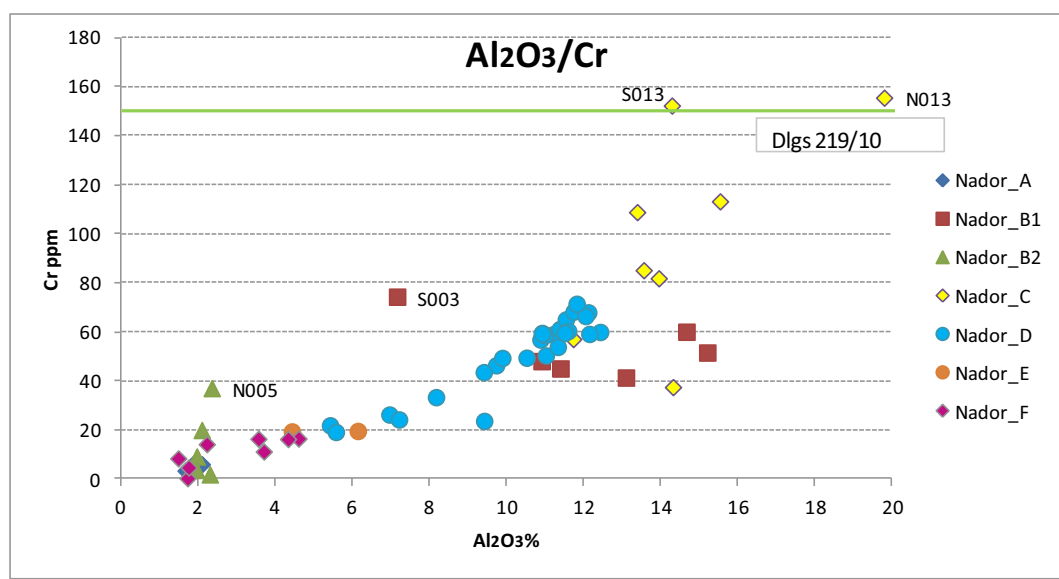


Figura 73 Diagramma binario $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Cr}$.

I valori di soglia del Cr totale per il Dlg 219/10 è di 150 ppm: tale soglia è superata solo dai campioni N013 ed S013, i quali sono localizzati lungo la costa tra Nador e l'Attaloyoum.

In generale i campioni più ricchi in Cr sono quelli che hanno una forte influenza rispetto alla litologia del Gourogou, ovvero il Gruppo C: infatti il Cromo è in genere associato a rocce femiche, come quelle vulcaniche dell'area, anche se si deve considerare la possibilità di una contaminazione, seppur lieve, da parte delle industrie metallurgiche che si trovano nei pressi della città di Nador e che usano il Cr per migliorare le caratteristiche meccaniche degli acciai (Gonnelli & Renella, 2013).

In relazione ai diagrammi binari si riscontra che:

SiO₂/Cr: non c'è alcuna correlazione tra questi due elementi.

CaO/Cr: la correlazione non è lineare, ma si possono evidenziare tre macrogruppi:

- Campioni con una presenza di CaO inferiore al 15% circa: questi campioni sono quelli dei Gruppi C, B1, ovvero quelli dove l'influenza del sedimento del suolo vulcanico del Gourogou è maggiore e il Cr è più abbondante, con valori tra 40 e 160 ppm. Il gruppo E ricade in questa fascia, ma ha concentrazioni di Cr ridotte (circa 20ppm)
- Campioni intermedi: sono quelli del Gruppo D e presentano un indice di correlazione di 0,73; si tratta dei campioni intra-lagunari, dove vi è un rimescolamento tra i contributi sedimentari marini e quelli continentali.

- Campioni con CaO maggiore del 23%: sono i campioni dove c'è dominanza del sedimento marino e della zona meridionale del cordone litorale; il Cr non supera i 20 ppm, ad esclusione del campione N005 che misura 36.8 ppm.

Al₂O₃/Cr: la correlazione è positiva e in qualche modo inversa a quella del CaO.

Distinguiamo tre fasce:

- Campioni con Al₂O₃ inferiore al 6% circa: sono i campioni dei Gruppi A, B2 ed F e quelli del Gruppo E; si tratta di campioni poveri in fasi argillose e con valori di Cr inferiori ai 20 ppm. Con l'eccezione del campione N005.
- Campioni intermedi: sono quelli del gruppo D.
- Campioni con Al₂O₃ maggiore del 10%: Gruppi C e B1, valori di Cr più elevati. Fa eccezione il campione S003, localizzato nella costa prospiciente Beni Ensar, che ha valori di Cr elevati, 74.1 ppm, ma una percentuale di Al₂O₃ inferiore rispetto al resto del gruppo (7.16%).

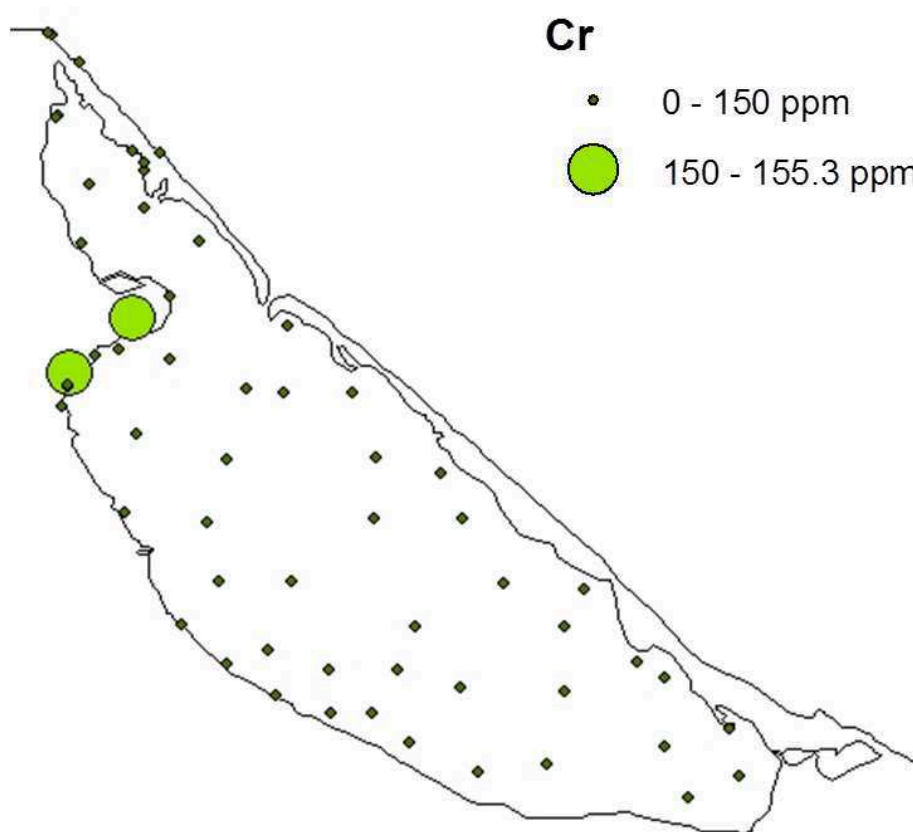


Figura 74 Mappa tematica con la distribuzione del Cr: i simboli più grandi indicano i campioni che superano il limite di legge.

In generale si può dedurre che il Cr aumenta con l'aumentare di Al_2O_3 e quando quest'ultimo supera il 13% in abbondanza relativa, il Cr entra nella soglia di attenzione rispetto a possibili problemi di inquinamento.

Rame

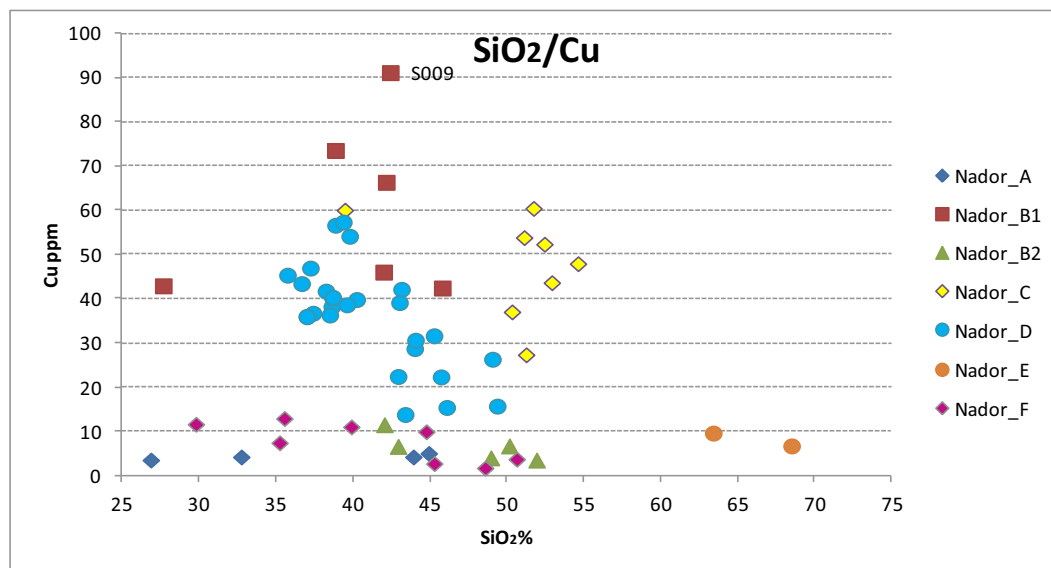


Figura 75 Diagramma binario SiO₂/Cu.

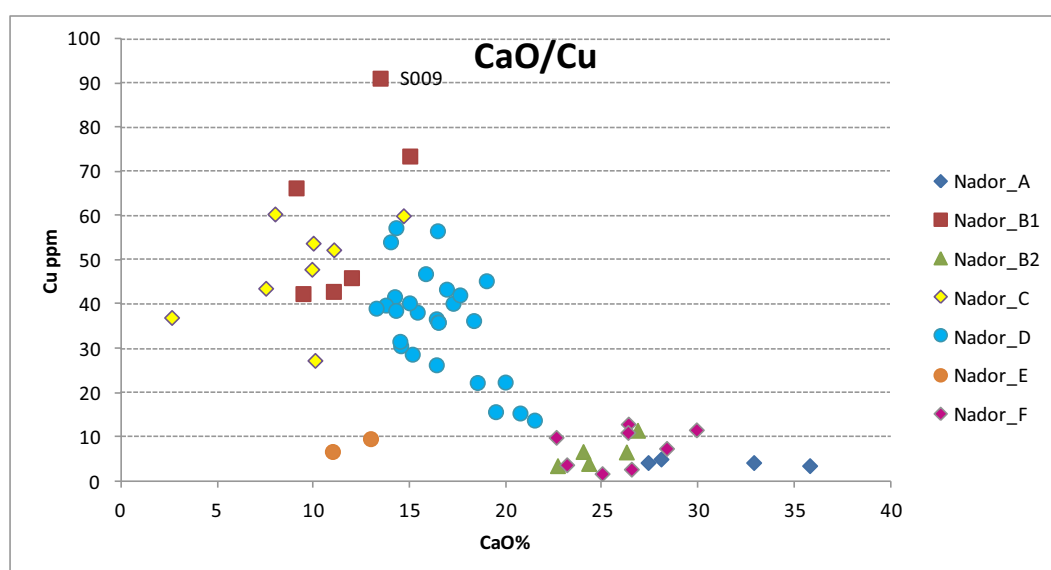


Figura 76 Diagramma binario CaO/Cu.

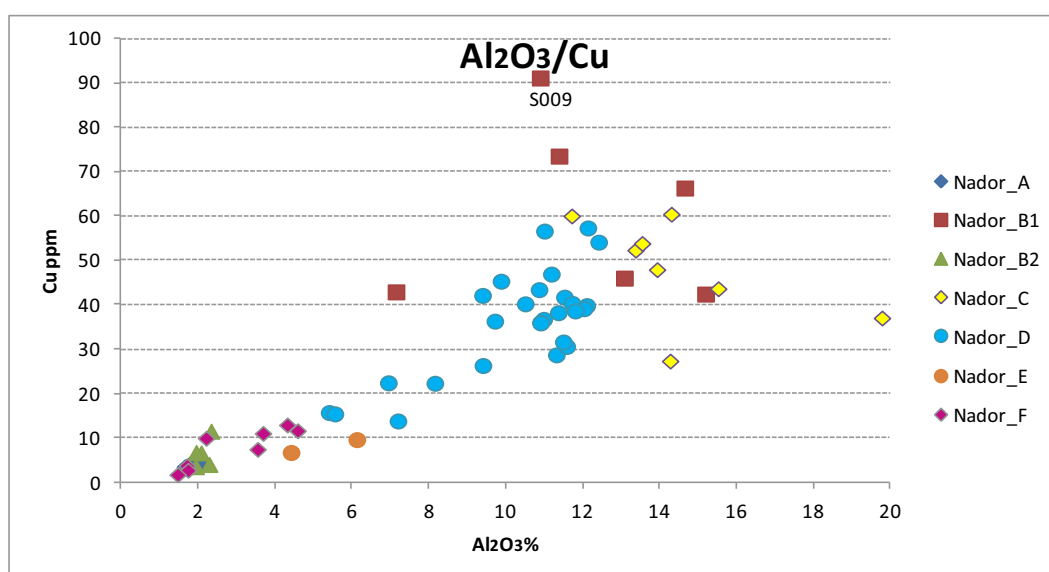


Figura 77 Diagramma binario $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Cu}$.

Per il Dlgs 219/10 il valore soglia del Cu è 120 ppm: nessun campione supera tale soglia. La presenza di Cu nei sedimenti è in questo caso associabile in particolare alle rocce magmatiche femiche (Oorts, 2013), che caratterizzano il Gourogou (i campioni del Gruppo B1 e C sono i più ricchi in Cu): nei sedimenti la concentrazione di Cu è determinata soprattutto dalla composizione mineralogica e dalla granulometria del sedimento (Sacchi et al., 2007), perciò il contributo maggiore è a livello di roccia madre, ma non è da sottovalutare il contributo del Cu da impatto antropico, proveniente in particolar dalle pratiche agricole, poichè viene utilizzato comunemente come anticrittogamico in forma di solfato di rame; durante i periodi piovosi il Cu, per lisciviazione, raggiunge i corsi d'acqua (Oueds) che sfociano poi nella laguna. Oltre a ciò è da valutare che lungo la costa sono sparsi vari piccoli porticcioli e non sono da escludere come potenziali sorgenti di inquinamento le imbarcazioni dei pescatori poichè le vernici anti-fouling utilizzate per gli scafi contengono comunemente ossido di rame, come componente biocida (Huang et al., 2013).

Valutando i grafici, si evince che:

SiO_2/Cu : non vi è alcuna correlazione.

CaO/Cu : La correlazione negativa (-0.73) mette in luce i seguenti sottogruppi:

- Campioni con CaO inferiore al 15%: sono i Gruppi B1, C ed E, quelli con dominanza del sedimento di origine continentale. I più abbondanti in Cu sono i

campioni del Gruppo B1 e C, con valori tra 20 e 100 ppm (S009 il più elevato); il Gruppo E invece fa eccezione, con valori Cu molto bassi, al di sotto dei 10ppm: ciò significa che il Cu è contributo prioritario dei sedimenti derivanti dal Gourougou.

- Valori intermedi: è il Gruppo D, con valori di CaO tra 14-22% e di Cu tra 14 e 60ppm
- Valori di CaO sopra il 14%: sono i campioni, assieme al Gruppo E, più poveri in Cu, con valori inferiori ai 13 ppm.

Al₂O₃/Cu: la correlazione è positiva (0.82) e i campioni sono divisi in:

- Al₂O₃ inferiore al 6% circa: i più poveri in Cu, sono i Gruppi A, B2, E ed F.
- Gruppo intermedio, tra 6 e 13% di Al₂O₃: il Gruppo D
- Gruppo con Al₂O₃ maggiore di 11% e Cu sopra ai 20 ppm circa: sono i Gruppi C e B1. Fa eccezione il campione S003 che ha una percentuale di Al₂O₃ inferiore all'8% ma una quantità di Cu paragonabile al resto del gruppo di appartenenza (43ppm).

Anche in questo caso Al₂O₃ è l'elemento migliore per discriminare la probabile presenza di Cu e, come nel caso precedente, il campione S003 ha un comportamento difforme, perché più povero in Al₂O₃, ma con quantità di Cu paragonabili al resto del Gruppo B1 a cui appartiene.

Nichel

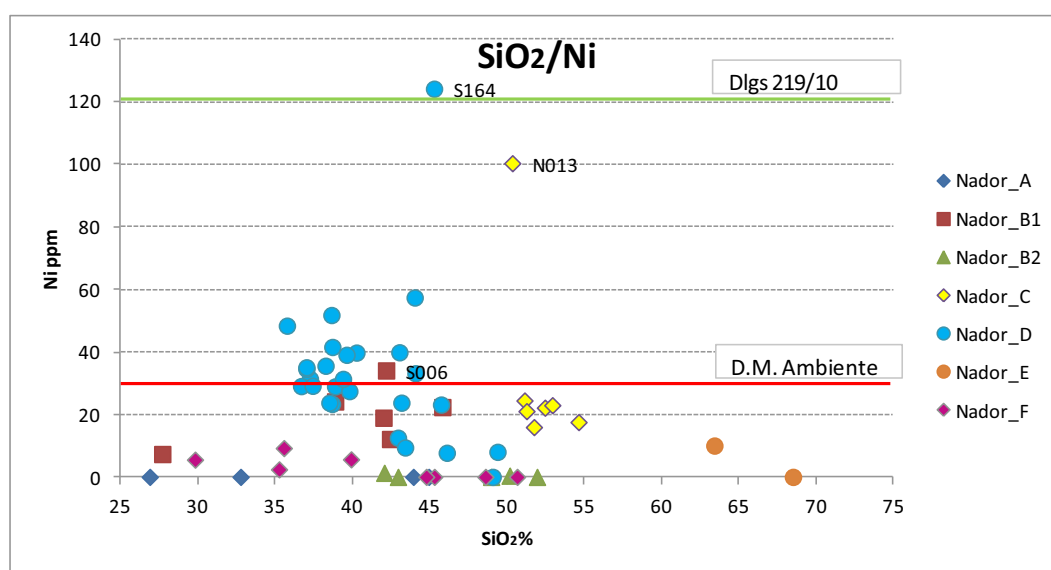


Figura 78 Diagramma binario SiO₂/Ni.

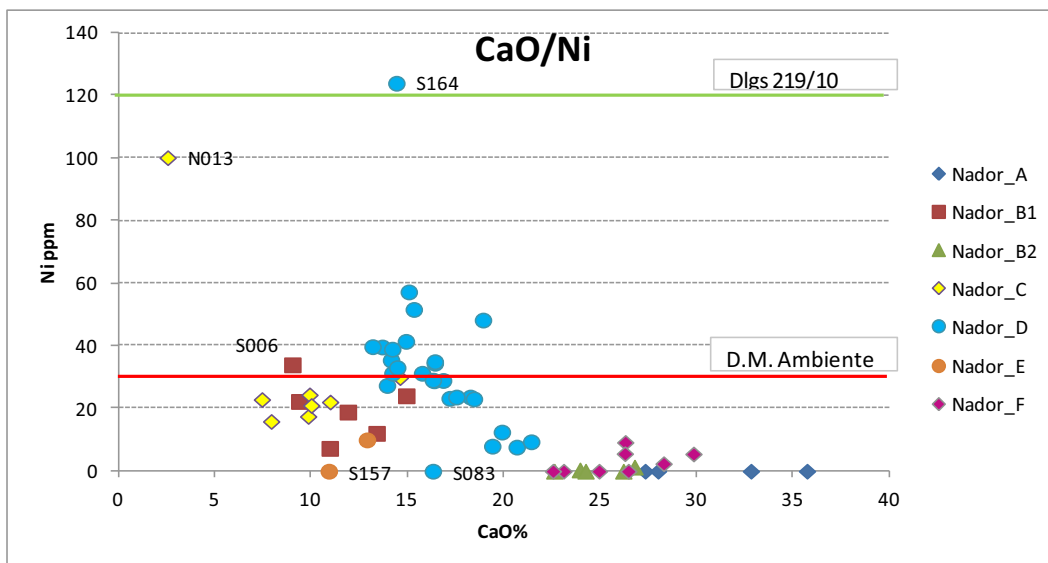


Figura 79 Diagramma binario CaO/Ni.

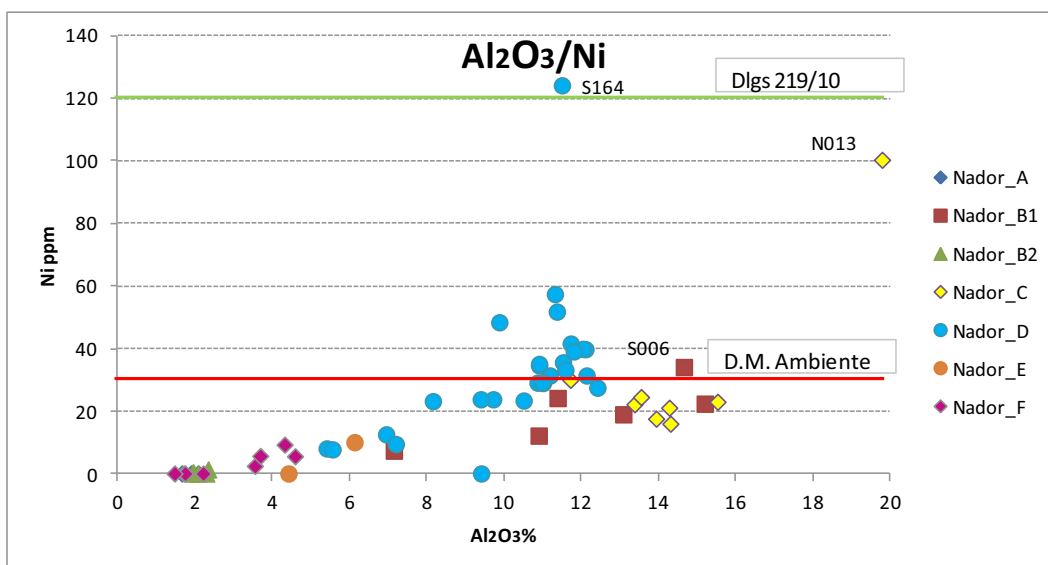


Figura 80 Diagramma binario Al₂O₃/Ni.

Secondo il DLgs 219/10 la soglia limite per il Ni è di 120 ppm mentre il D.M. Ambiente 56/2009, molto più restrittivo del precedente, pone la soglia limite a 30 ppm. Se teniamo come riferimento il DLgs 219/10 solo il campione S164, posto nei pressi della foce dell' Oued Mrader è al di sopra della soglia. Se invece prendiamo in considerazione il D.M.

Ambiente 56/2009, un gran numero di campioni eccede la soglia, in particolare quelli del gruppo D, con le eccezioni del campione N013 ed S006.

A differenza degli elementi descritti fino ad ora il Ni è presente in concentrazioni maggiori non solo nell'area del Gourogou, associato alla roccia ignea (il Ni si trova in minerali silicatici quali olivine e augite) e ai detriti argillosi che ne derivano, come vermiculiti, cloriti (Gonnelli & Renella, 2013), ma anche in campioni più interni e meridionali: in questo caso il Ni è probabilmente legato a fonti antropiche, quali le attività agricole, visto che in questa area scaricano le proprie acque numerosi Oueds (Selouane, Mrader e Hali), i quali captano le acque di scolo ricche di fertilizzanti e pesticidi utilizzati nell'area agricola del Bou Areg; inoltre il Ni è affine alla frazione organica, che in queste aree della laguna è molto elevata, sempre a causa di varie sorgenti, come i reflui urbani e i residui della combustione dei derivati del petrolio e, facendo riferimento in questo caso al campione S006, anche alle attività di piscicoltura (Bloundi et al., 2008).

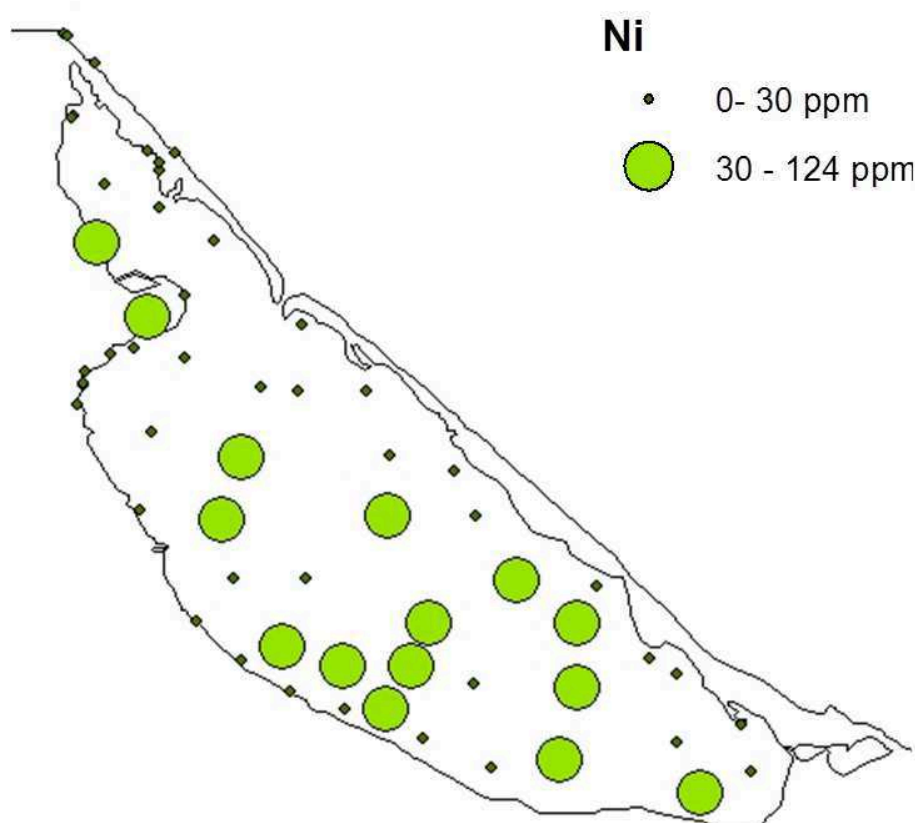


Figura 81 Mappa tematica con la distribuzione del Ni: i simboli più grandi indicano i campioni che superano il limite di legge.

I diagrammi binari per il Ni mostrano che:

SiO₂/Ni: assenza di correlazione

CaO/Ni: i campioni con valori al di sopra del 20% circa in CaO mostrano bassissime concentrazioni di Ni, tendenti allo zero. Fanno eccezione i campioni S083 e S157 che, nonostante abbiamo poca CaO sono anch'essi privi di Ni.

Al₂O₃/Ni: anche in questo caso la correlazione non è elevata (0.69), ma si riscontrano due gruppi, dove il valore in Al₂O₃ al 6% è uno spartiacque:

- Al₂O₃ sotto il 6%: sono i Gruppi A, B2, E, F dove Ni è vicino allo zero
- Al₂O₃ al di sopra del 6%: il resto dei campioni dove la maggioranza dei campioni ha concentrazioni di Ni sopra i 20ppm.

Piombo

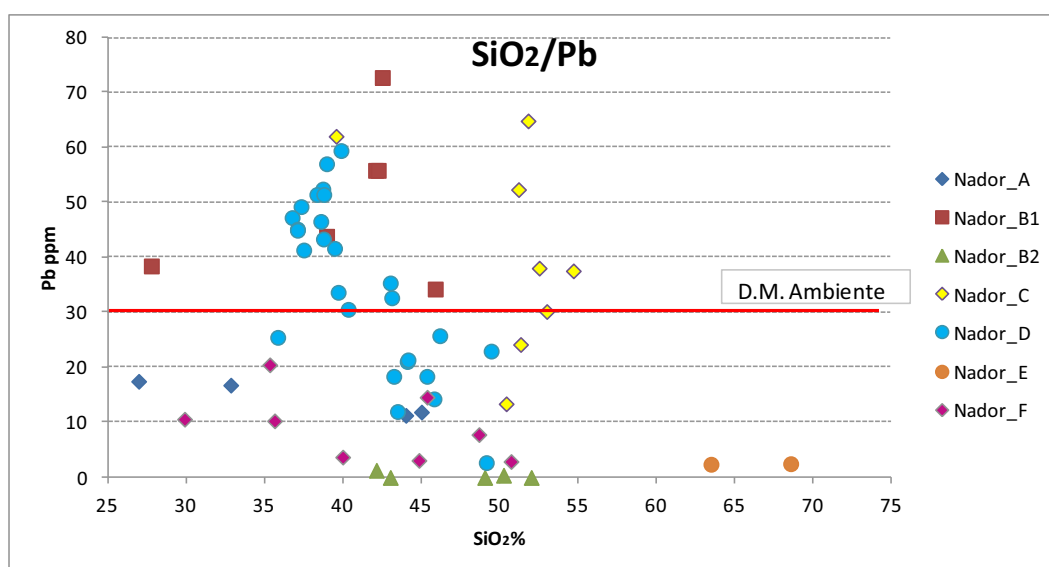


Figura 82 Diagramma binario SiO₂/Pb.

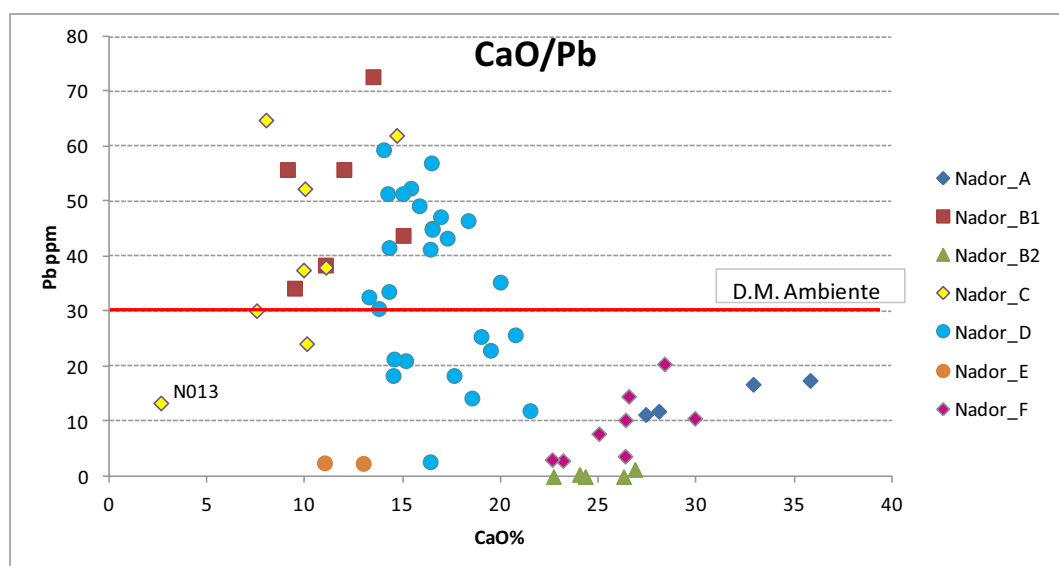


Figura 83 Diagramma binario CaO/Pb.

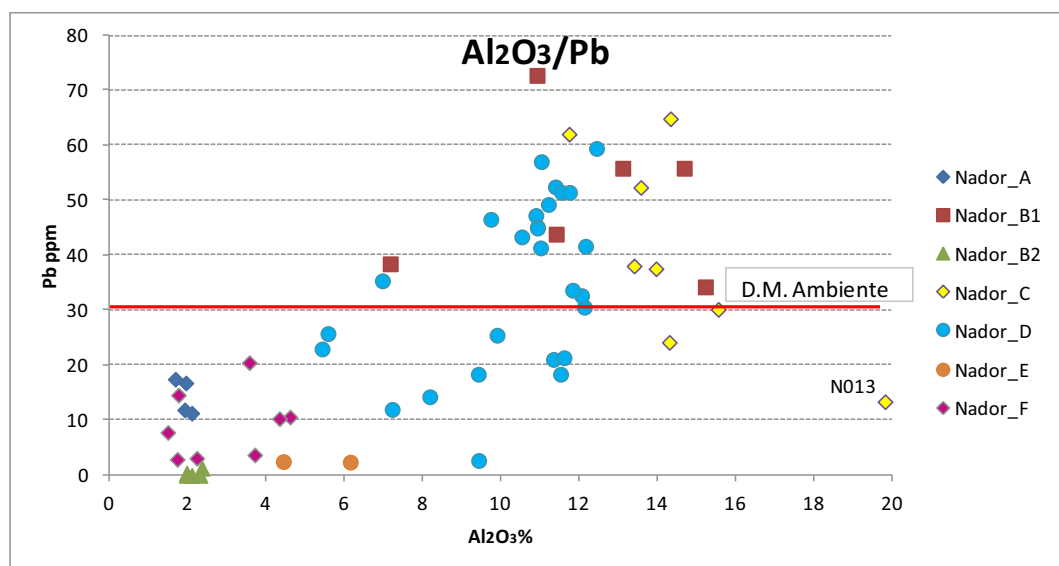


Figura 84 Diagramma binario Al₂O₃/Pb.

Secondo il Dlgs 219/10 la soglia limite per il Pb è di 100 ppm e il D.M. Ambiente 56/2009, pone invece la soglia a 30 ppm. Secondo il Dlgs 219/10 i campioni della laguna di Nador non mostrerebbero segni allarmanti di inquinamento in atto, mentre per il D.M. Ambiente 56/2009 la metà dei campioni supera il limite consentito. Si tratta dei campioni del Gruppo B1, C e parte di quelli del gruppo D, mentre gli altri gruppi sono ben al di sotto del limite di legge.

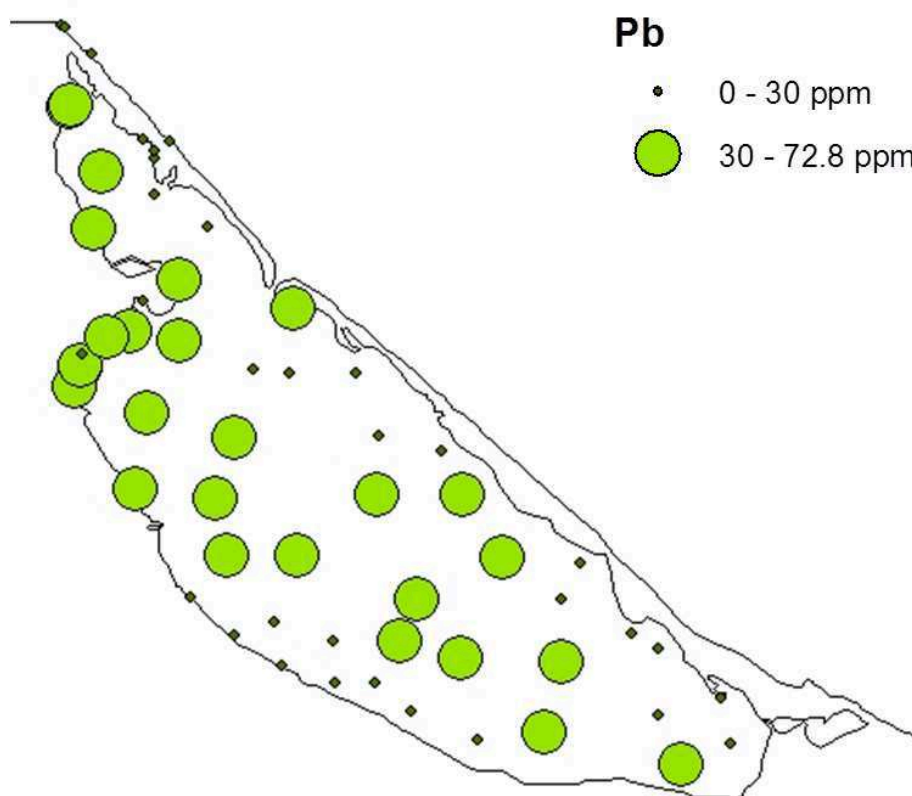


Figura 85 Mappa tematica con la distribuzione del Pb: i simboli più grandi indicano i campioni che superano il limite di legge.

La tabella di Correlazione mostra come il Pb non sia correlato con nessun elemento maggiore, ad eccezione di K_2O ; tale circostanza è resa visibile anche dai diagrammi binari sopra riportati. Solo la correlazione Al_2O_3/Pb (0.68) dà un'indicazione sommaria, dalla quale si evince che all'aumentare di Al_2O_3 (o della frazione argillosa) aumenta la concentrazione di Pb.

Il piombo non sembra essere associabile in maniera diretta alla litologia del Gourogou, e solo in parte al contenuto in frazione argillosa. Le sorgenti più plausibili di tale inquinamento sono (i) gli scarti di lavorazioni delle antiche miniere di ferro, molto pericolose perché il Pb derivato dagli scarti delle miniere risulta potenzialmente più mobile che in altre circostanze (Maskall & Thornton, 1998); (ii) l'uso di combustibile fossile, a volte addizionato con Pb; (iii) gli scarichi non autorizzati delle industrie (Bloundi et al., 2009). Inoltre vi è anche una componente atmosferica: l'inquinamento da Piombo è una problematica a carattere mondiale, tanto che località notoriamente incontaminate, come la Groenlandia o la Foresta Amazzonica, sono state investite da problematiche attinenti all'inquinamento di questo metallo, trasportato per lunghe distanze dagli agenti atmosferici (Steiness, 2012).

Vanadio

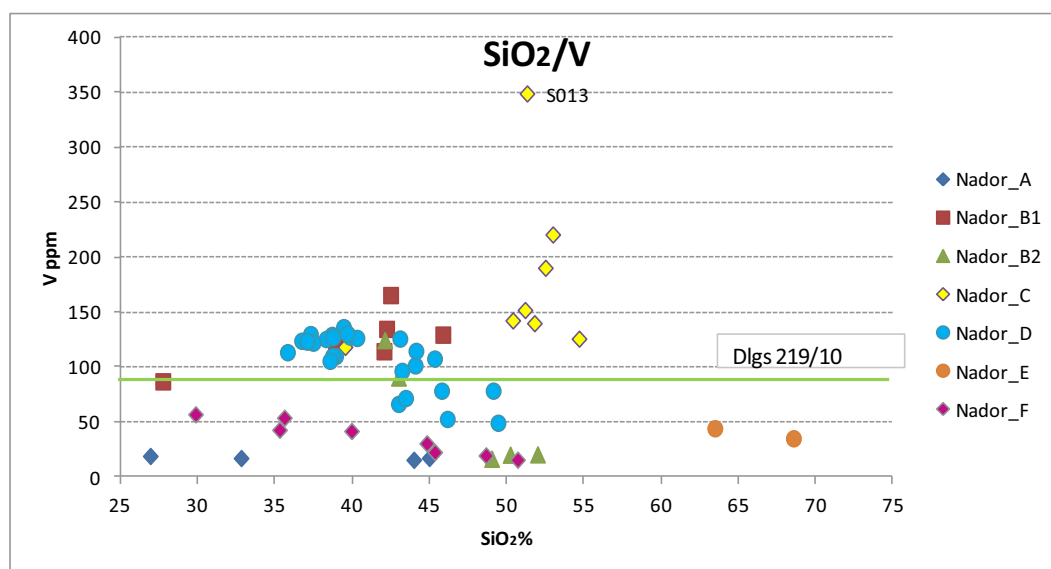


Figura 86 Diagramma binario SiO₂/V.

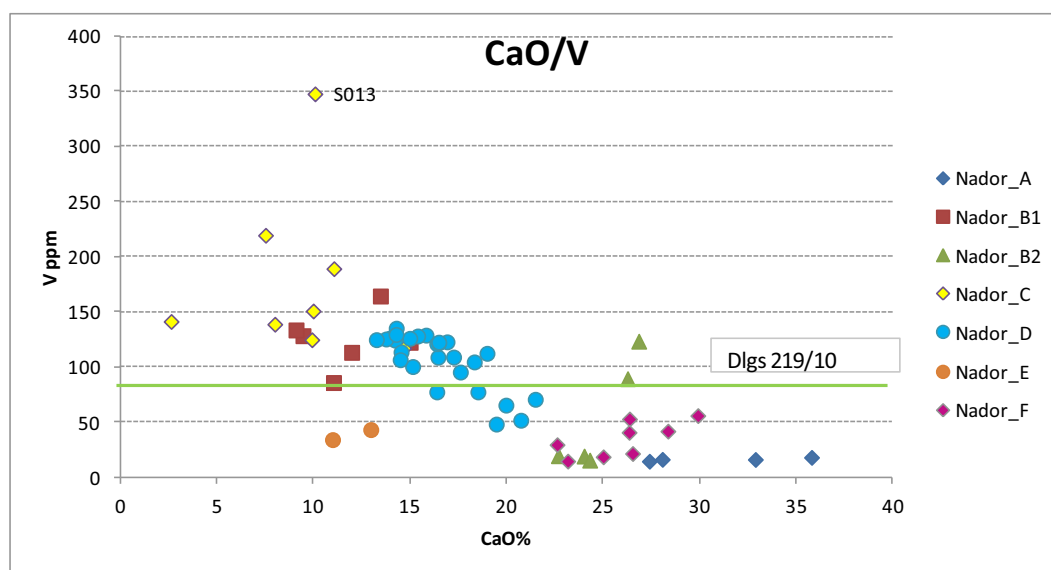


Figura 87 Diagramma binario CaO/V.

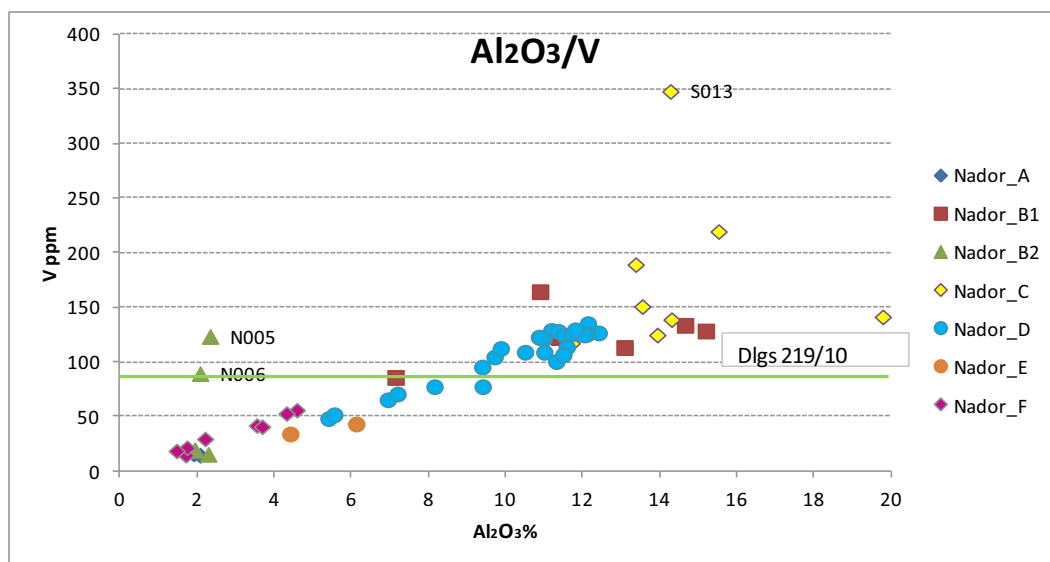


Figura 88 Diagramma binario $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{V}$.

I campioni della laguna di Nador, facendo riferimento al Dlgs 219/10, mostrano un'importante contaminazione da Vanadio, il cui limite di legge è 90 ppm: questo elemento è associato in genere a sorgenti di inquinamento antropiche. Esso è un elemento di scarto delle combustioni fossili, in particolare del carbone, ed è quindi associato all'inquinamento industriale e veicolare; inoltre è usato come additivo nelle industrie che lavorano l'acciaio (Madejòn, 2013), le quali sono presenti in nei pressi della città di Nador. Il Vanadio è un elemento molto pericoloso per la salute ambientale: esso viene assorbito in maniera preferenziale da mitili e crostacei (Di Giuseppe, 2010), che sono parte del settore alimentare tipico di quest'area.

In riferimento ai diagrammi binari si evince che:

SiO_2/V : non vi è alcuna correlazione.

CaO/V : I campioni mostrano una divisione in due macrogruppi:

- CaO sotto 20% circa: campioni ricchi in V (fanno eccezione i campioni del Gruppo E)
- CaO sopra il 20% circa: campioni poveri in V (ad eccezione dei campioni N005 ed N006)

$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{V}$: La correlazione è positiva e, come nel caso precedente, si possono delineare due gruppi:

- Al_2O_3 sotto 8% circa: campioni poveri in V (ad eccezione dei campioni N005 ed N006)
- Al_2O_3 sopra 8% circa: campioni ricchi in V

I campioni N005 ed N006 anche in questa circostanza mostrano una natura geochemica differente dal resto dell'area a cui sono associate, perché probabilmente derivanti da stratigrafie più antiche.

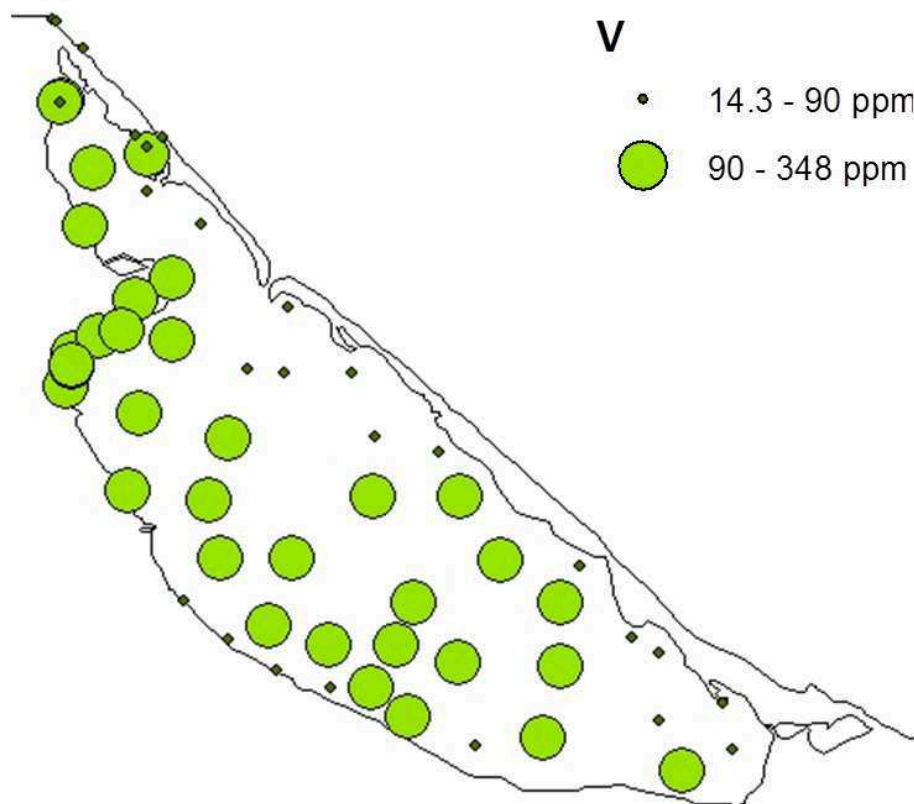


Figura 89 Mappa tematica con la distribuzione del V: i simboli più grandi indicano i campioni che superano il limite di legge.

Zinco

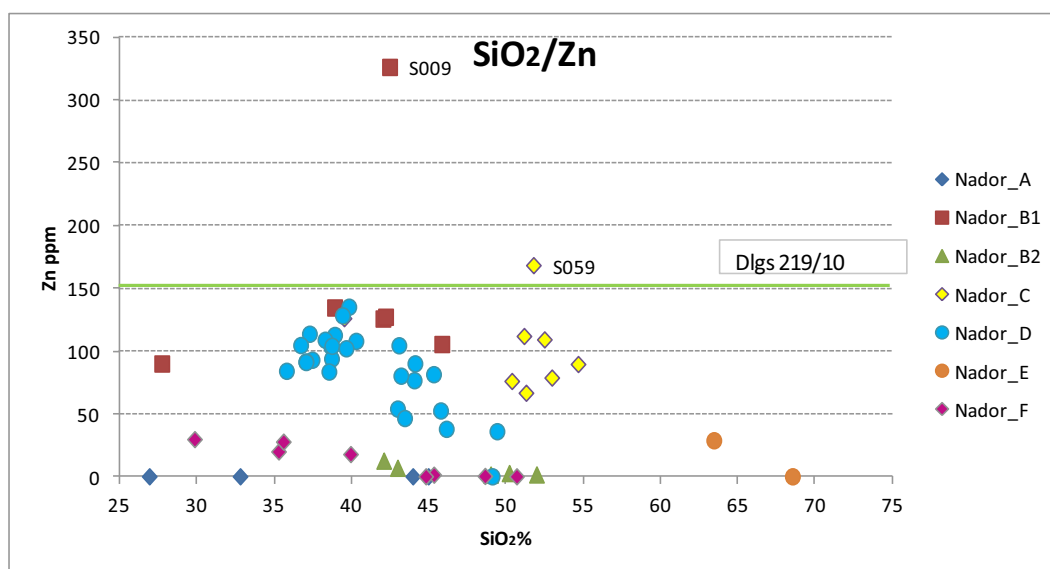


Figura 90 Diagramma binario SiO₂/Zn.

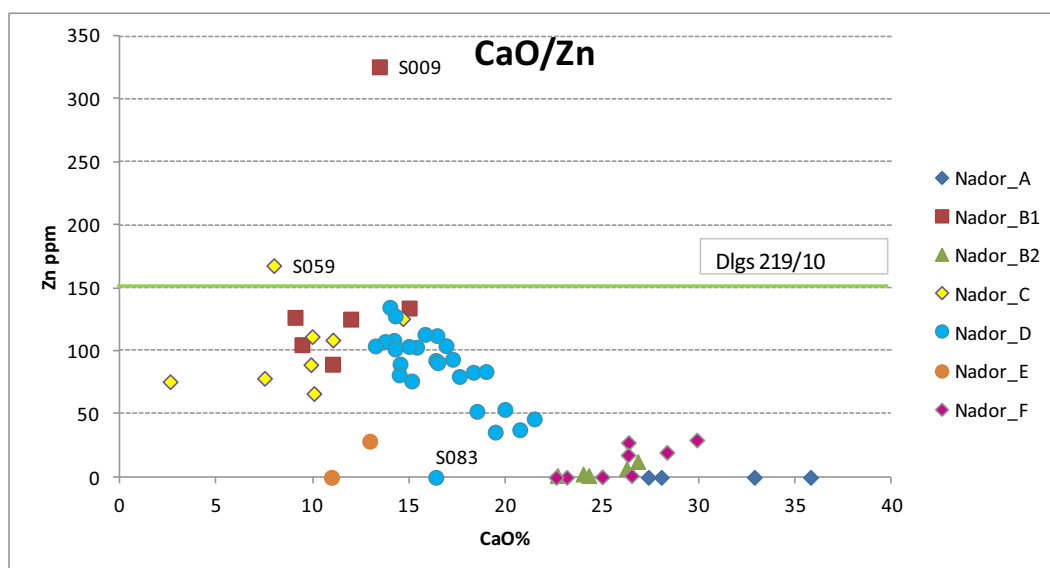


Figura 91 Diagramma binario CaO/Zn.

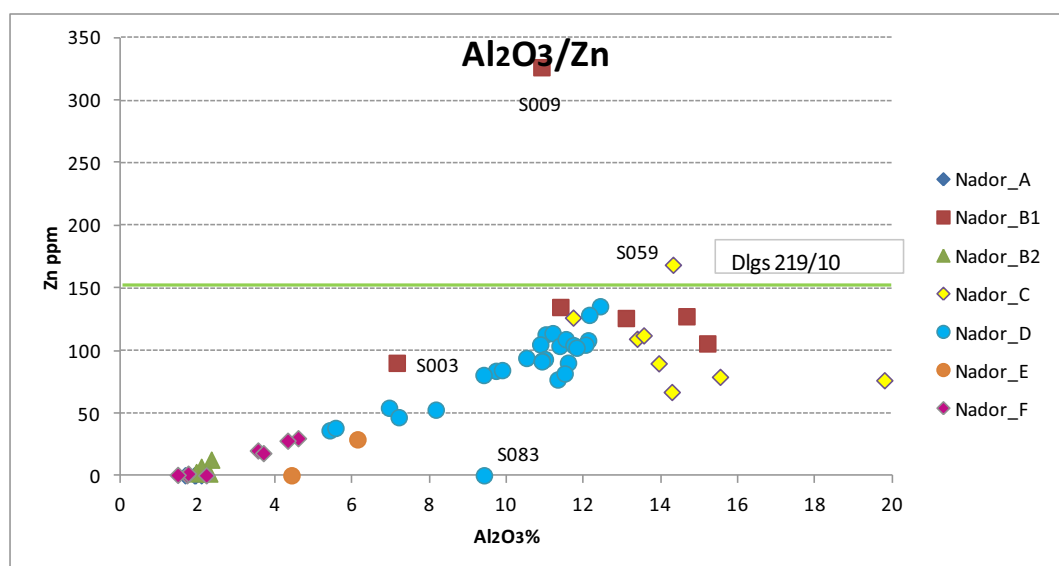


Figura 92 Diagramma binario $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Zn}$.

Per il Dlgs 219/10 vi sono solo due campioni che superano i limiti di legge (150 ppm) e sono S009 ed S059. I campioni più ricchi in questo elemento sono quelli del Gruppo C e B1, ovvero quelli influenzati dalla litologia del Gourogou: lo Zinco infatti è maggiormente presente nelle rocce femiche come i basalti, dove può avvenire una sostituzione dello Zn su Fe^{2+} o Mg^{2+} nei minerali ferro magnesiaci, come Augite, Biotite, (Mertens & Smolders, 2013). Nonostante ciò lo Zinco può essere anche indice di una contaminazione antropica, in particolare nel settore industriale minerario, dove viene usato come elemento galvanizzante nell'acciaio: nella città di Nador tale industrie sono un settore strategico, ma spesso rigettano nell'ambiente (atmosfera e laguna) i propri prodotti di scarto senza adeguate pratiche di depurazione (Bloundi et al., 2009).

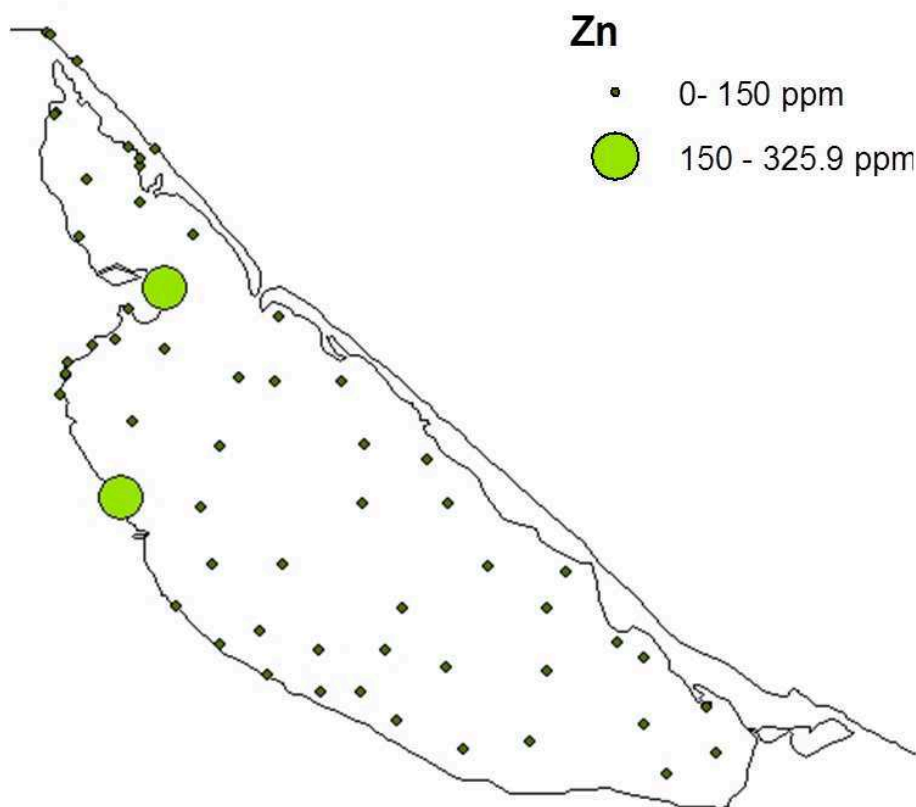


Figura 93 Mapa tematica con la distribuzione dello Zn: i simboli più grandi indicano i campioni che superano il limite di legge.

I diagrammi binari mettono in luce che:

SiO₂/Zn: non vi è alcuna correlazione

CaO/Zn: si possono mettere in evidenza due gruppi:

- Sotto il 22% in CaO: campioni ricchi in Zn (ad esclusione dei campioni del gruppo E ed il campione S083);
- Sopra il 22% in CaO: campioni poveri in Zn.

A₂O₃/Zn: la correlazione è buona (0.75) e si possono individuare due macrogruppi:

- A₂O₃ inferiore a 6% circa: Gruppi A, B2, E, F sono i più poveri in Zn;
- A₂O₃ superiori a 6% circa: i campioni più ricchi in Zn, da 40 a 140 ppm, con due campioni molto più elevati S059 a 168.10 ppm e S009 a 325.9 ppm.

In conclusione:

Dallo studio della tabella di correlazione, dei diagrammi binari e della distribuzione dei metalli in traccia è possibile concludere che:

SiO₂ non è mai correlato

Al₂O₃ è ben correlato con tutti gli elementi in maniera positiva: poiché l'incremento di Al₂O₃ è associabile all'aumento nella frazione fine, si può dedurre che in tutti i campioni la granulometria è un fattore dominante nella distribuzione dei metalli in traccia.

I campioni N005 ed N006 hanno un comportamento anomalo rispetto al resto del Gruppo a cui appartengono, risultando più ricchi in V (sopra il limite del Dlgs 219/10) e Cr. I Gruppi in cui l'inquinamento è più elevato sono il Gruppo B1, C, D e il campione N005 del gruppo B2.

| | | Cr | Ni | Pb | V | Zn |
|-----------|------|----|----|----|---|----|
| Gruppo B1 | S001 | | | X | X | |
| | S002 | | | X | X | |
| | S003 | | | X | | |
| | S004 | | | X | X | |
| | S006 | X | | X | X | |
| | S009 | | | X | X | X |
| Gruppo C | N009 | | | X | X | |
| | N010 | | | X | X | |
| | N011 | | | X | X | |
| | N012 | | | X | X | |
| | N013 | X | X | | X | |
| | S011 | | | X | X | |
| | S013 | X | | | X | |
| | S059 | | | X | X | X |
| Gruppo D | S020 | | | X | X | |
| | S025 | | | X | X | |
| | S034 | | | X | | |
| | S037 | | X | X | X | |
| | S064 | | | X | X | |
| | S096 | | X | X | X | |
| | S099 | | | X | X | |
| | S109 | | | X | X | |
| | S120 | | | X | X | |
| | S129 | | X | | X | |
| | S143 | | X | X | X | |
| | S145 | | X | X | X | |
| | S147 | | X | | X | |
| | S164 | | X | | X | |
| | S173 | | | | X | |
| | S180 | | | X | X | |
| | S192 | | X | X | X | |
| | S221 | | X | X | X | |
| | S246 | | X | X | X | |
| | S227 | | X | X | X | |
| | S230 | | X | | X | |
| | S248 | | X | X | X | |

Figura 94 Tabella di confronto tra i campioni che mostrano superamento dei limiti di legge.

I metalli in traccia che destano maggior preoccupazione per la laguna di Nador sono il Pb e il V, che risultano sopra i limiti di legge per gran parte dei campioni.

5.3.3 Confronti con altre località

Per comprendere lo stato di salute della laguna di Nador, è opportuno confrontare i dati ottenuti con quelli di altre località, comparabili per vicinanza geografica e/o tipologia ambientale.

A tal proposito si è scelto fare dei confronti tra i dati della laguna di Nador e quelli:

1. Del tratto di spiaggia tra Fnideq e M'diq, nei pressi di Tetouan, a pochi chilometri a N-O di Nador (Fig.95), raccolti nel 2003 dall'equipe del Prof. Nachite Driss. (Nachite et al., 2005).

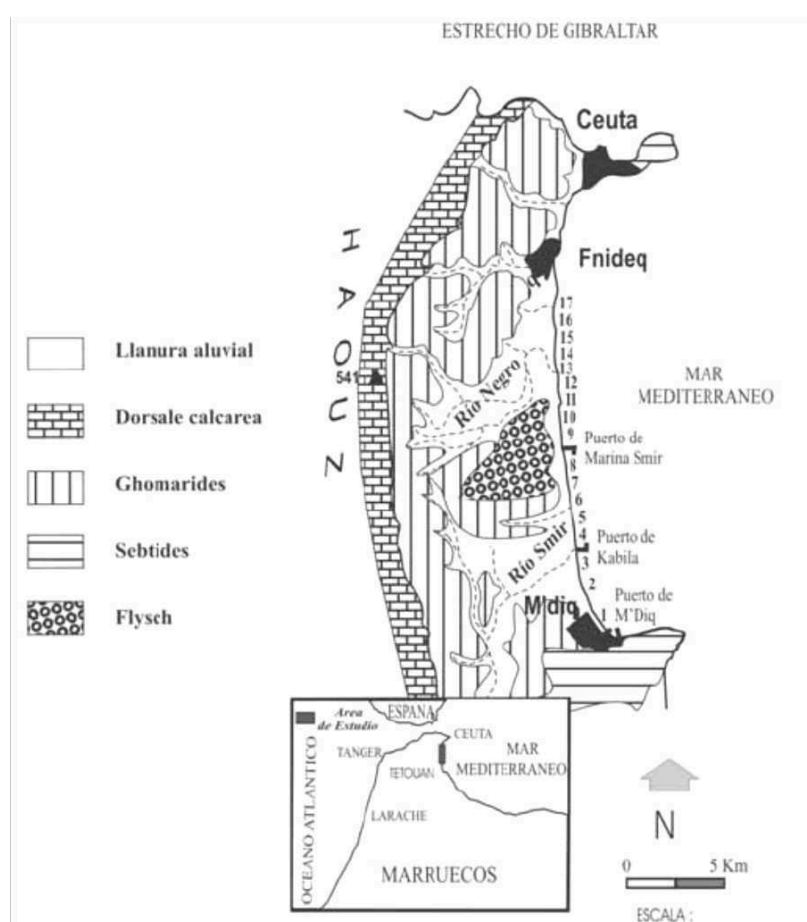


Figura 95 Mappa della spiaggia tra Fnideq e M'diq, da Nachite et al., (2005).

2. Della sacca di Goro (Fe), un esempio italiano di laguna antropizzata sulla quale giungono acque esauste da un'area largamente antropizzata e coltivata come il tratto terminale della Pianura Padana. I campioni qui trattati sono stati raccolti in varie campagne tra il settembre 2003 e giugno 2005 e fanno parte della tesi di dottorato della Dott.ssa Linda Bertelli (Bertelli & Vaccaro, 2007).

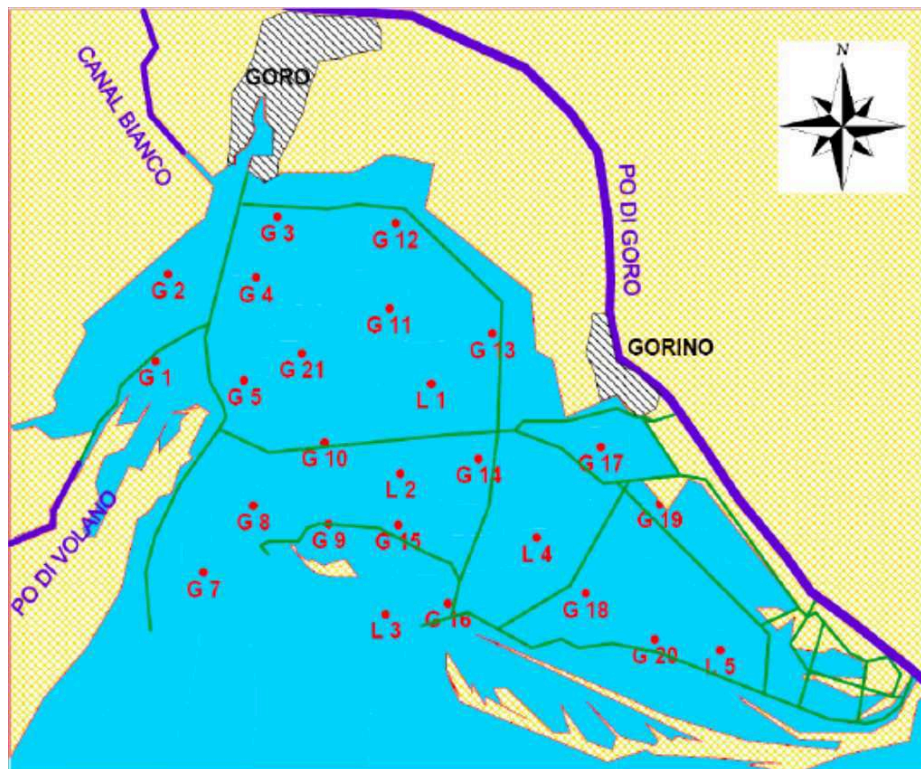


Figura 96 Distribuzione dei punti di campionamento all'interno della Sacca di Goro, campagne eseguite dal Settembre 2003 al Giugno 2005; da Bertelli (2007).

In entrambi i casi i campioni sono riferibili alla stratigrafia superficiale e sono stati analizzati mediante Spettrometria XRF nei laboratori del Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra: questa circostanza aumenta la confrontabilità tra i dati esposti.

Elementi maggiori

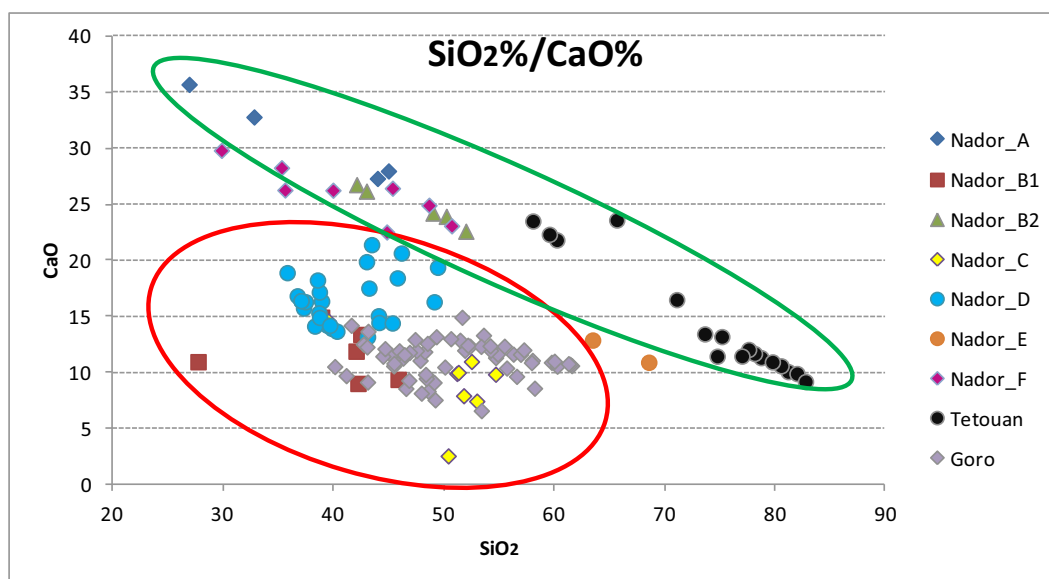


Figura 97 Diagramma binario $\text{SiO}_2\%/\text{CaO}\%$.

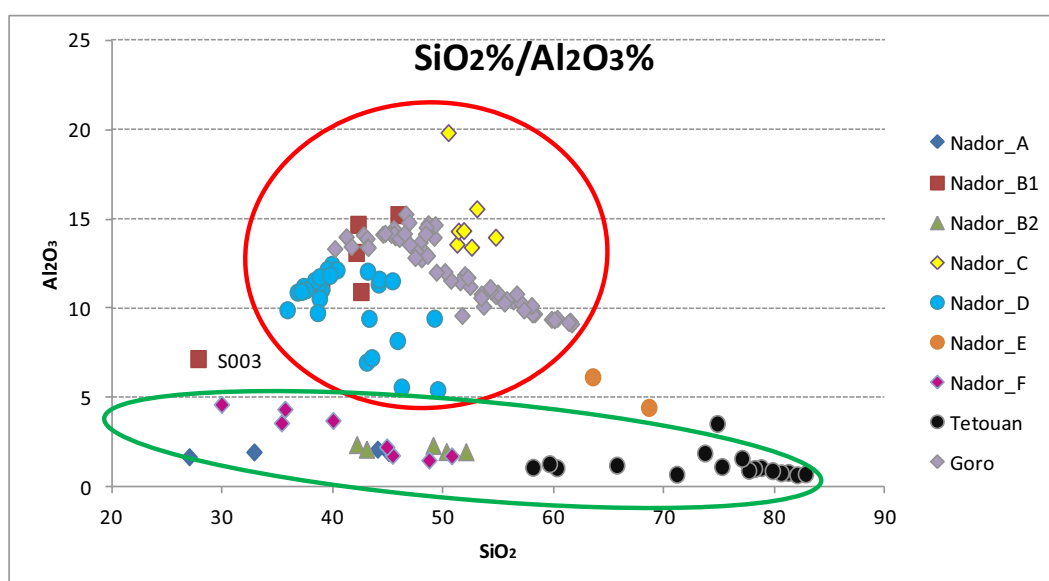


Figura 98 Diagramma binario $\text{SiO}_2\%/\text{Al}_2\text{O}_3\%$.

Nei diagrammi binari di SiO_2/CaO e $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ si possono vedere due macrogruppi, riferibili alla tipologia di sedimento dominante:

- Campo verde = campioni con il dominio del sedimento marino; a questo settore appartengono i campioni dei Gruppi A, B2, F della laguna di Nador e i campioni della spiaggia di Tetouan.

- Campo rosso = campioni con sedimento di tipo lagunare; a questo settore appartengono i campioni dei Gruppi B1, C e D della laguna di Nador e i campioni della Sacca di Goro
- Gruppo E = questi due campioni hanno una posizione intermedia rispetto agli altri due, e si tratta dei sedimenti continentali portati in laguna dall'Oued Selouane e l'Oued Mrader.

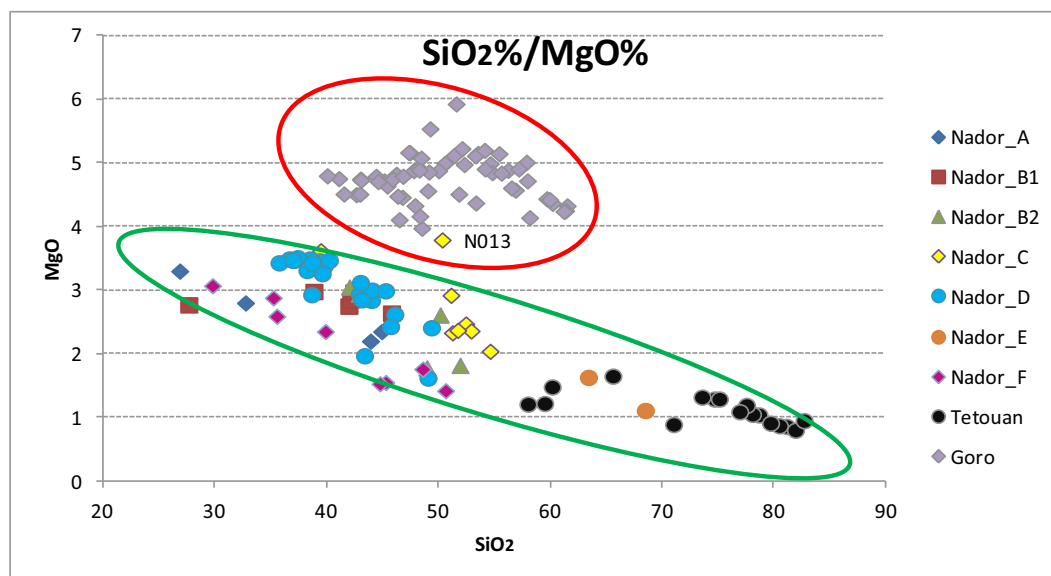


Figura 99 Diagramma binario SiO₂%/MgO%.

Il diagramma binario SiO₂/MgO mostra come la laguna di Goro sia molto più ricca in MgO rispetto ai campioni delle altre località. Solo il campione N013 raggiunge i valori della Sacca di Goro.

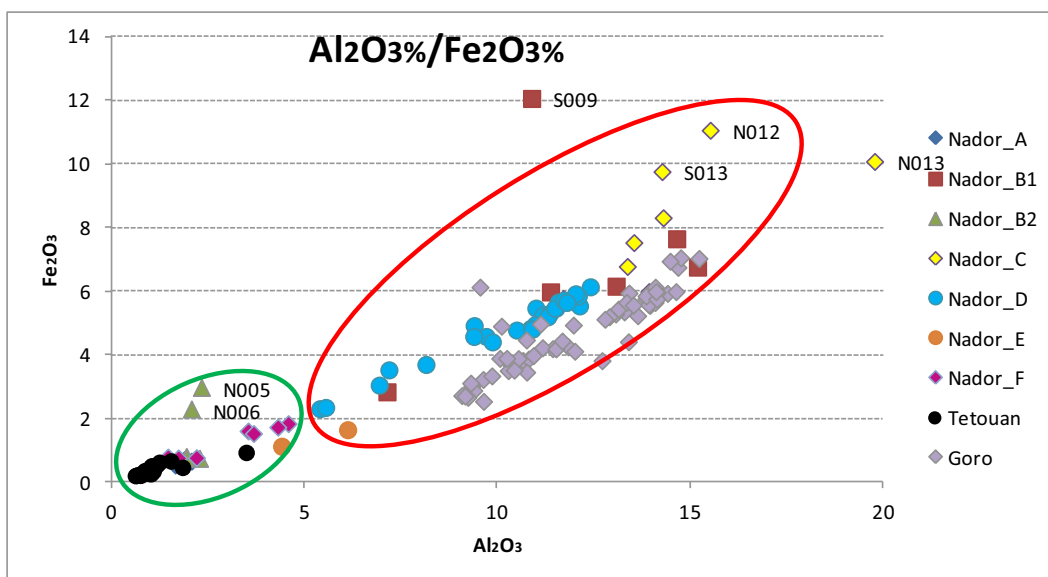


Figura 100 Diagramma binario $\text{Al}_2\text{O}_3\%/\text{Fe}_2\text{O}_3\%$

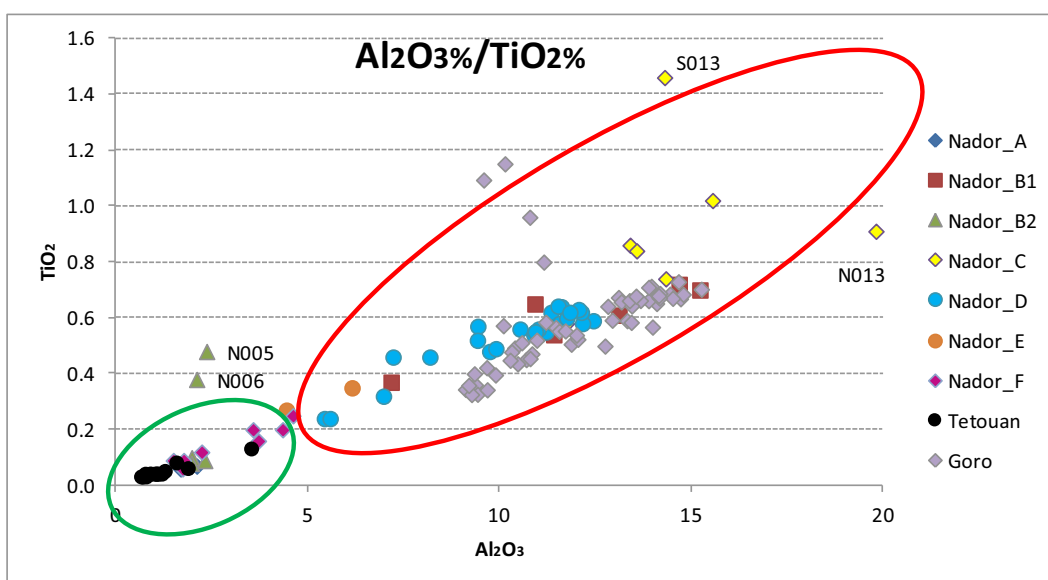


Figura 101 Diagramma binario $\text{Al}_2\text{O}_3\%/\text{TiO}_2\%$

Le correlazioni $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$ e $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ sono positive e lineari.

- Campo verde = campioni con dominanza di sedimento marino, Al_2O_3 è al di sotto del 5%, mentre Fe_2O_3 è inferiore al 3% e TiO_2 a 0.3%, ad esclusione dei campioni N005 e N006 che sono leggermente più ricchi in TiO_2 (0.38%, 0.48%).
- Campo rosso = campioni con sedimento lagunare.
- Gruppo E = i campioni sono a cavallo tra i due settori precedentemente descritti.

Da tali osservazioni si può dedurre che i campioni della laguna di Nador sono in parte simili a quelli della spiaggia del Mediterraneo e in parte sono più vicini a composizioni tipiche delle lagune; i campioni del Gruppo E fanno eccezione poiché la loro litologia e granulometria è dominata dal sedimento continentale della Piana del Bou Areg, trasportato in laguna dai corsi d'acqua, Oueds.

Cromo

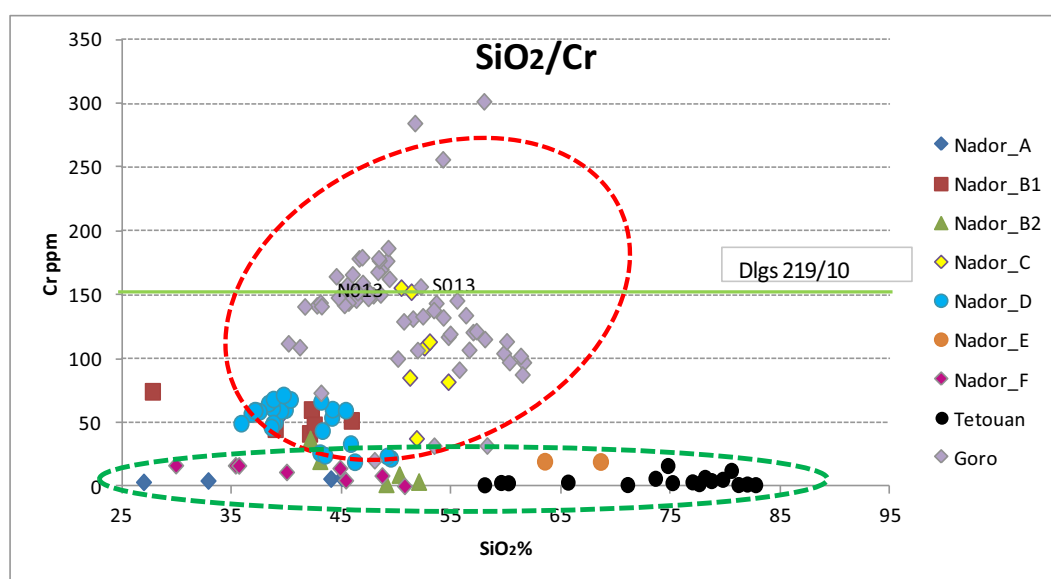


Figura 102 Diagramma binario SiO_2/Cr .

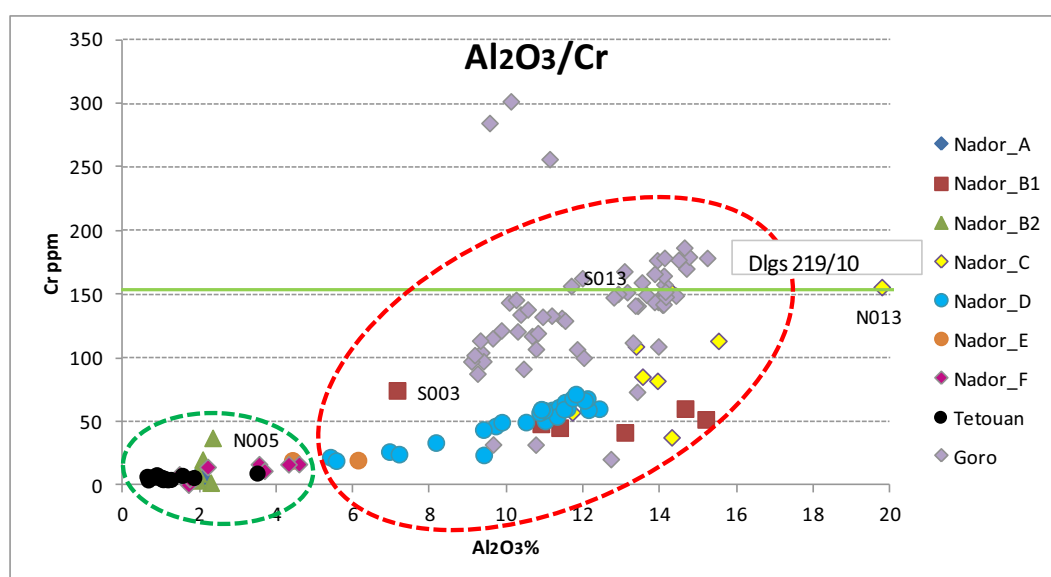


Figura 103 Diagramma binario $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Cr}$.

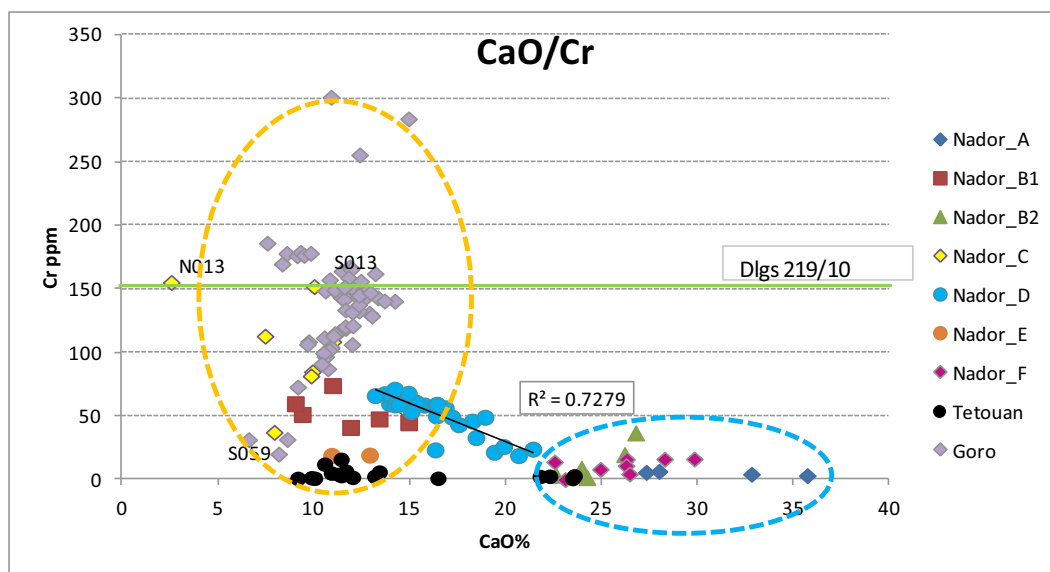


Figura 104 Diagramma binario CaO/Cr.

Mediamente i campioni di Goro sono quelli con concentrazioni in Cr maggiori.

I campioni di Tetouan invece rilevano una quasi assenza di Cr.

Nei diagrammi binari SiO_2/Cr e $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Cr}$ si possono individuare le due macroaree rilevate nei precedenti diagrammi binari degli elementi maggiori, ovvero campo rosso per i sedimenti prettamente lagunari e campo blu per quelli marini.

Nel caso del diagramma binario CaO/Cr le aree sono differenti e si identificano maggiormente in base alla percentuale di CaO.

- Fino a 15% circa di CaO: in questo caso si tratta dei campioni con dominanza di sedimento continentale; il gruppo di campioni di Tetouan che si trovano in questa zona del grafico sono riconducibili ad un settore della spiaggia in cui il contributo sedimentario di tipo silicoclastico è dominante, a causa dei sedimenti trasportati dal Rio Negro e dal Rio Smir (Nachite et al., 2005). Anche i campioni di Goro sono in questo settore, in quanto molti corsi d'acqua si riversano qui trasportando il sedimento della Pianura Padana.
- Campioni con CaO intermedia, tra 15 e 22% circa: sono i campioni dell'interno della laguna di Nador, gruppo D.
- Campioni con CaO sopra 22%: sono i sedimenti di natura marina, dove il contributo carbonatico è dominante.

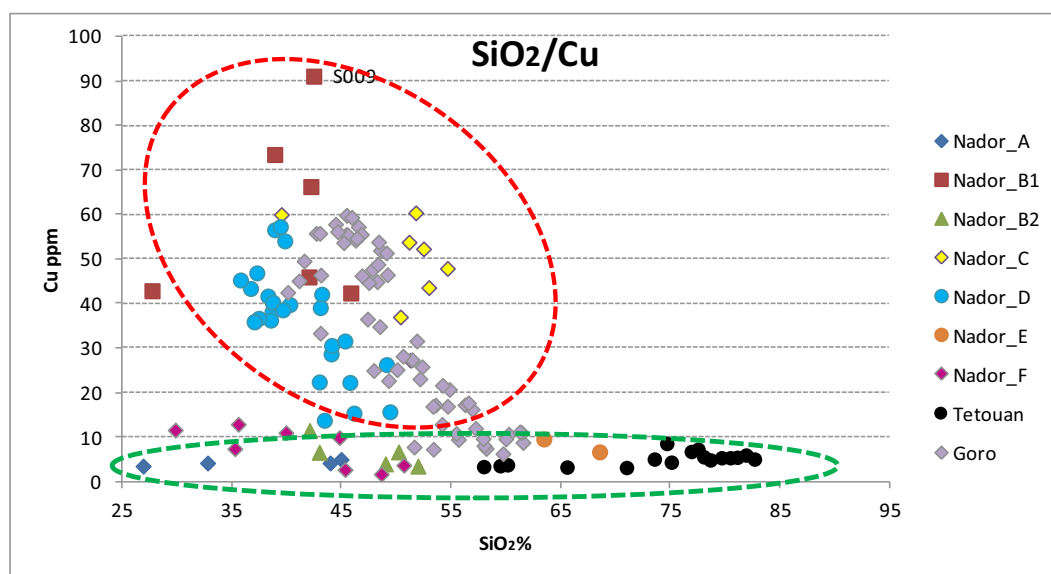


Figura 105 Diagrammi binari SiO₂/Cu.

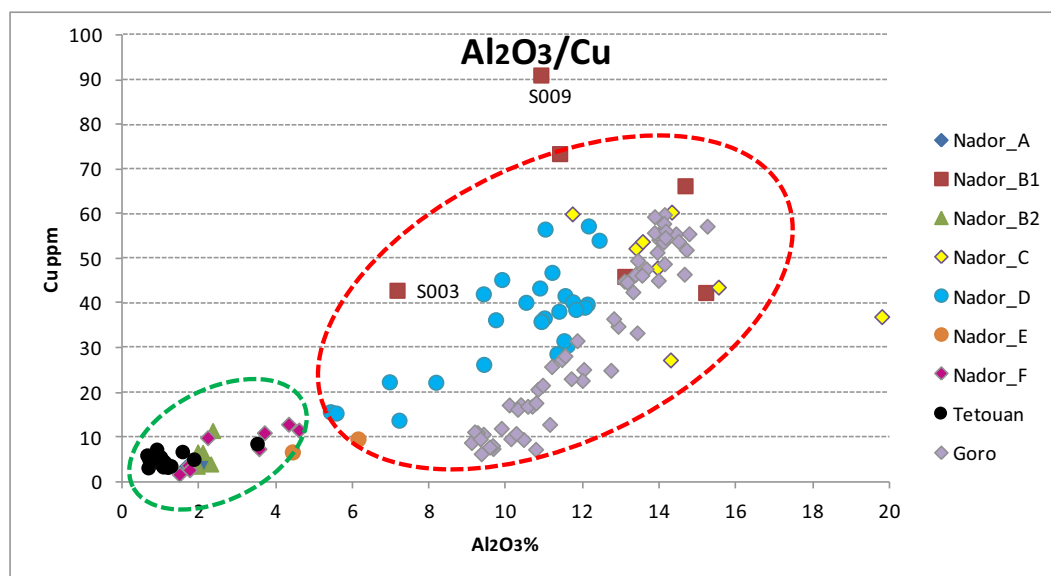


Figura 106 Diagrammi binari Al₂O₃/Cu.

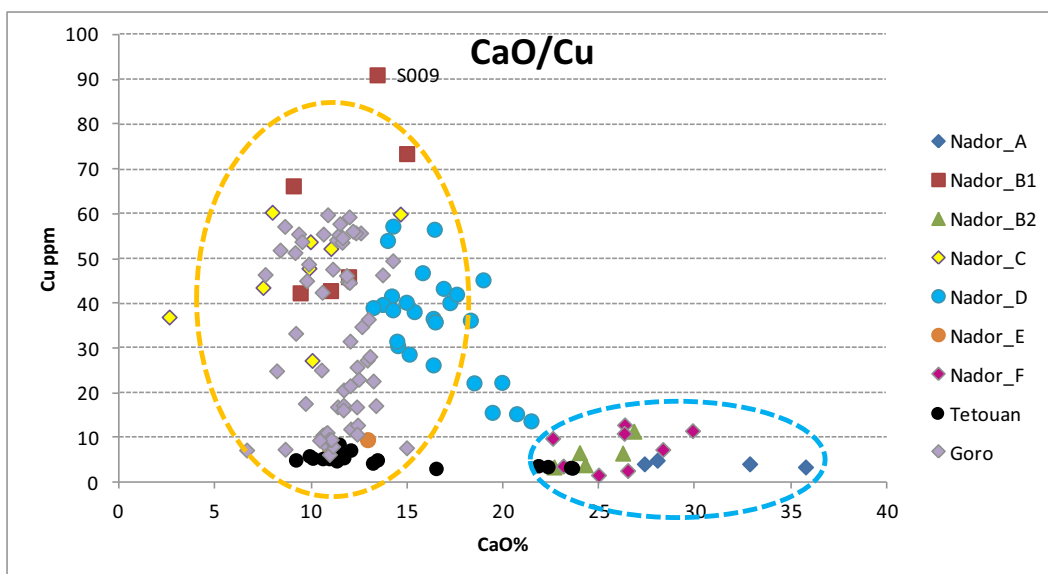


Figura 107 Diagrammi binari CaO/Cu.

Nessun campione supera i limiti di legge, perciò si può escludere che il Cu sia un elemento che desta preoccupazione nei siti della laguna di Nadore e Sacca di Goro, e ancor meno nelle spiagge di Tetouan, quasi prive di Cu.

Permangono i gruppi evidenziati in precedenza, anche se non risultano ben separati come nei casi degli elementi maggiori e del Cr.

Nichel

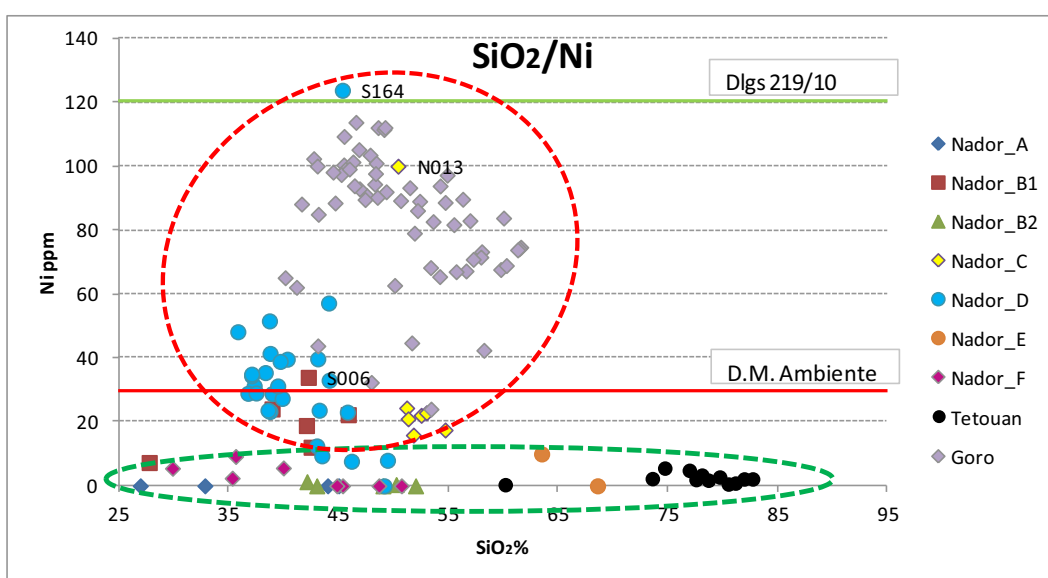


Figura 108 Diagramma binario SiO₂/Ni.

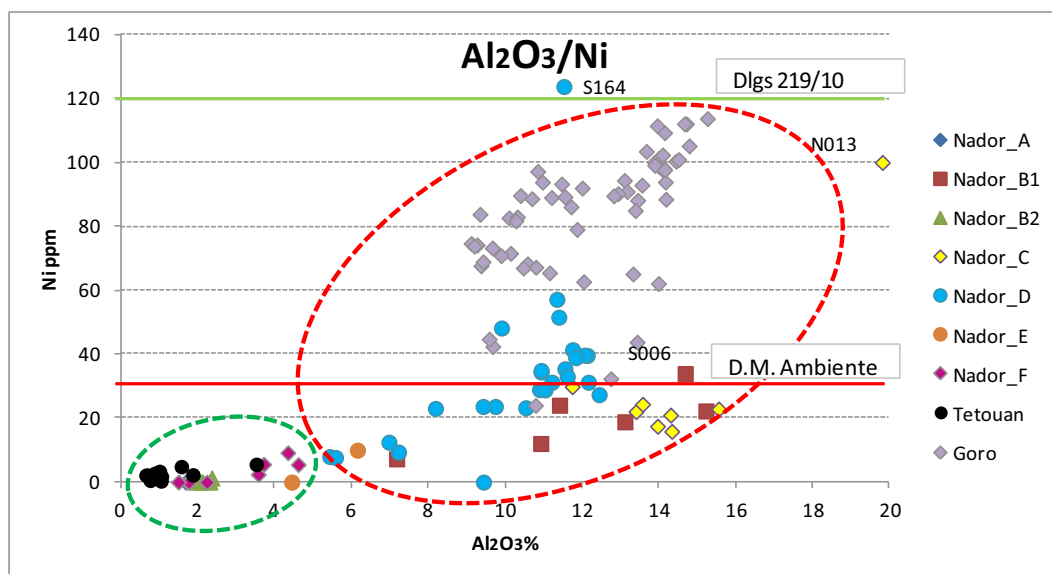


Figura 109 Diagramma binario $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}$.

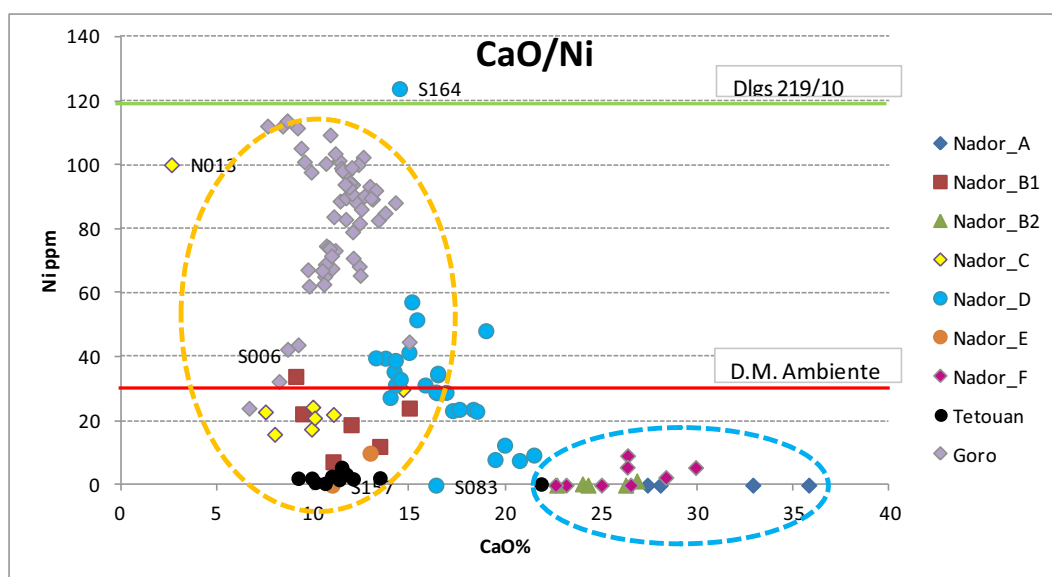


Figura 110 Diagramma binario CaO/Ni .

Appartiene alla laguna di Nador l'unico campione che supera i limiti di legge imposti dal Dlgs 219/10, ma se prendiamo in esame i limiti esposti nel D.M. Ambiente 56/2009, i campioni di Goro sono praticamente tutti al di sopra della soglia, mentre, rispetto al totale, solo un quarto dei campioni della laguna di Nador è al di sopra del limite di 30 ppm. L'alta concentrazione di Ni della sacca di Goro è riferibile ad un background naturale e le concentrazioni maggiori si riscontrano nelle aree dove il sedimento risulta granulometricamente più fine (Bertelli & Vaccaro, 2007).

Vanadio

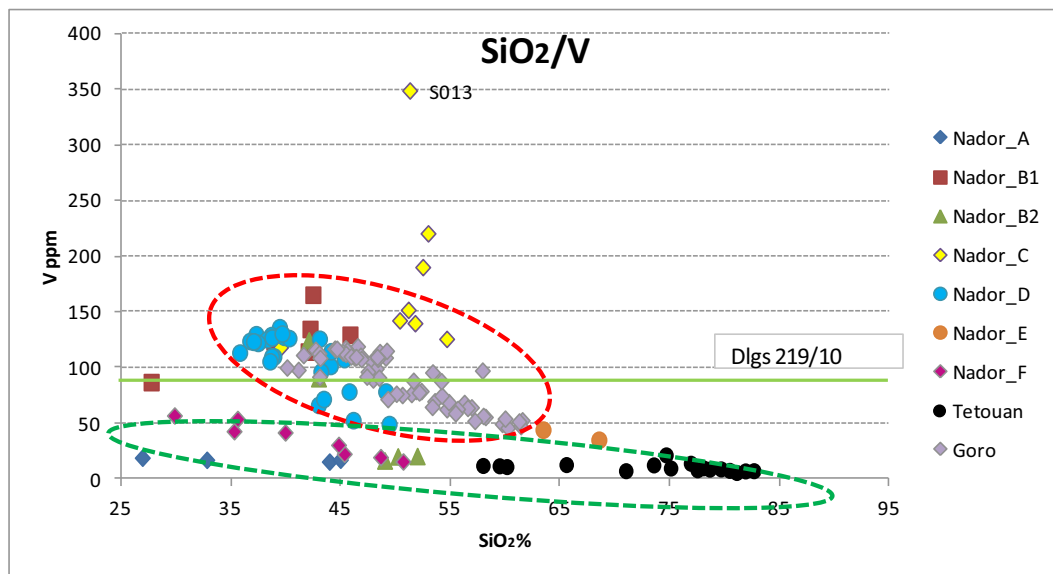


Figura 111 Diagramma binario SiO_2/V .

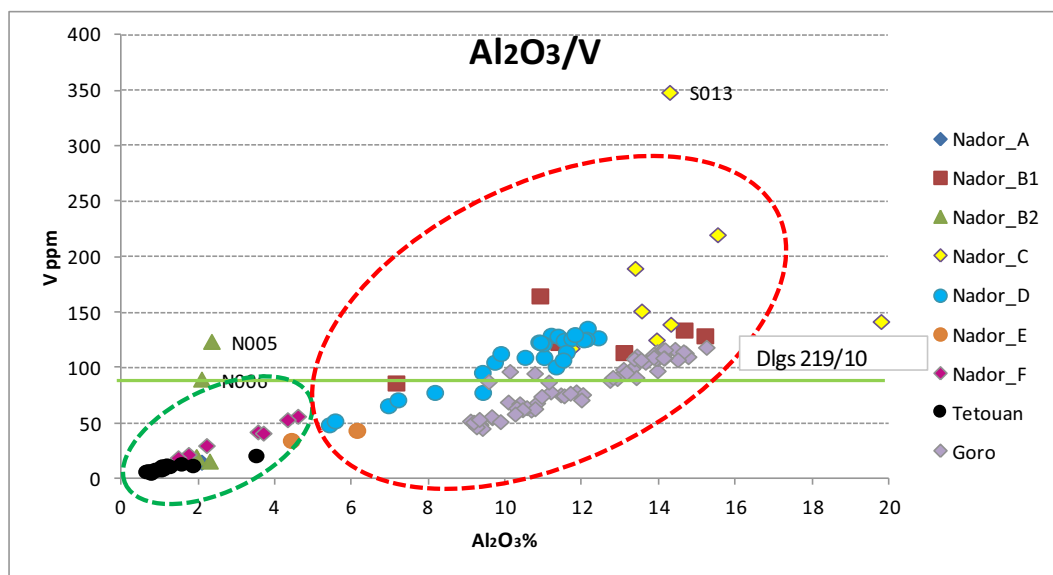


Figura 112 Diagramma binario $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{V}$.

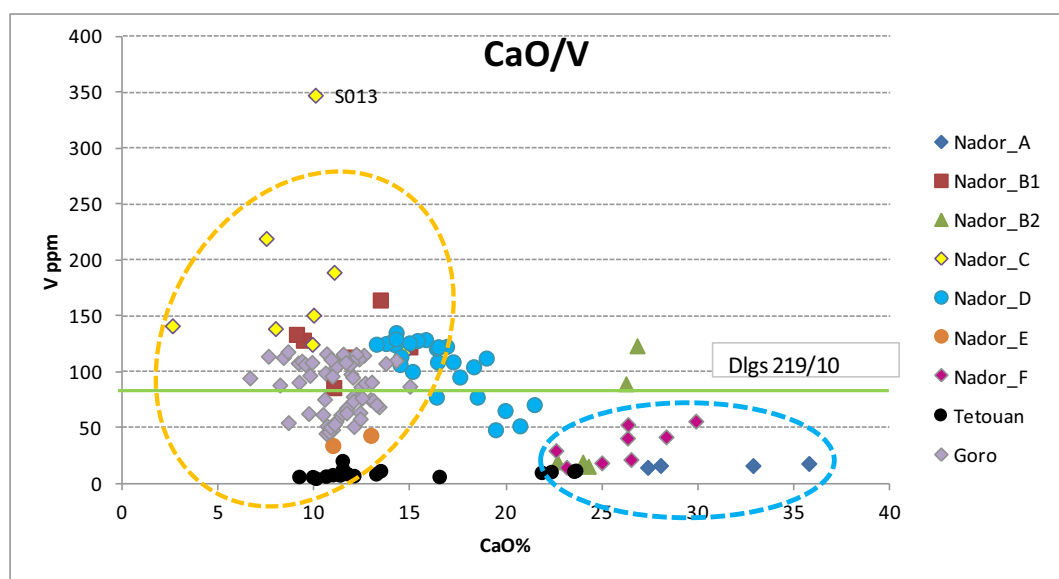


Figura 113 Diagramma binario CaO/V.

Sia la laguna di Nador che la Sacca di Goro mostrano livelli preoccupanti di V, con un gran numero di campioni che sfiorano il limite del Dlgs 219/10.

Secondo gli studi effettuati, l'elevata concentrazione di V nella sacca di Goro è da attribuire ad un background naturale caratteristico dei sedimenti del bacino di drenaggio del fiume Po (Bertelli & Vaccaro, 2007).

Zinco

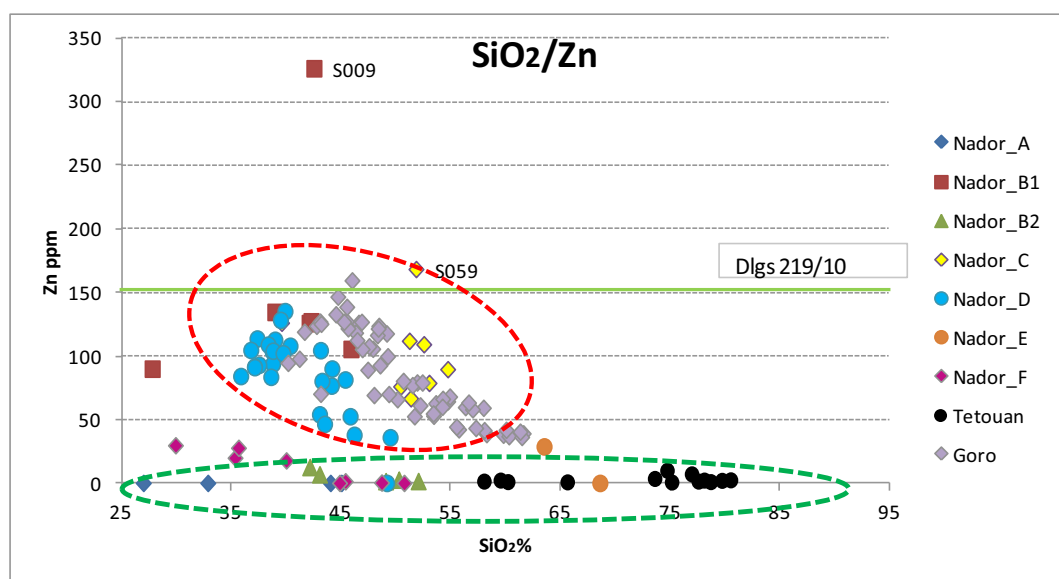


Figura 114 Diagramma binario SiO₂/Zn.

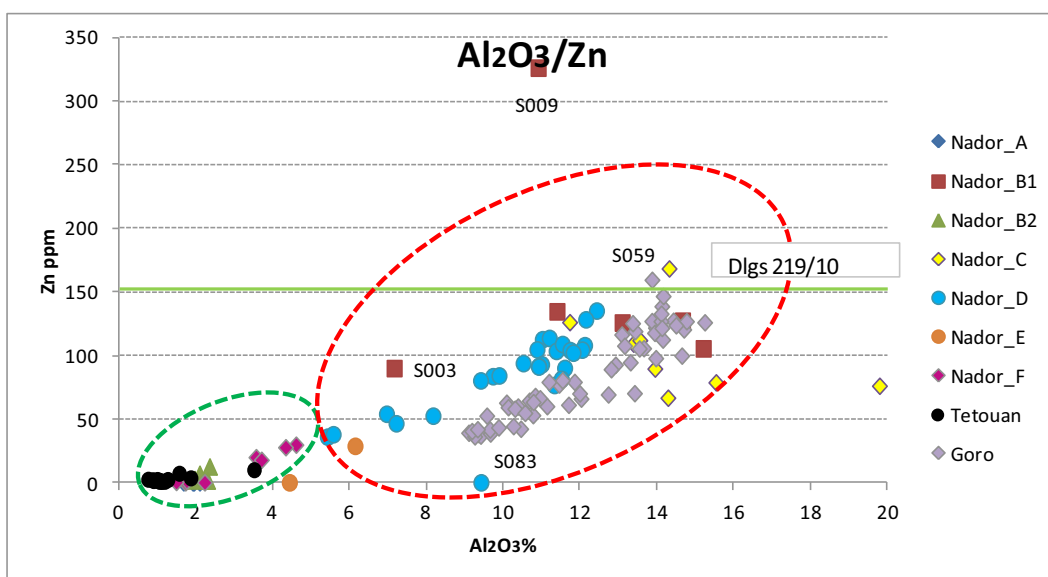


Figura 115 Diagramma binario $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Zn}$.

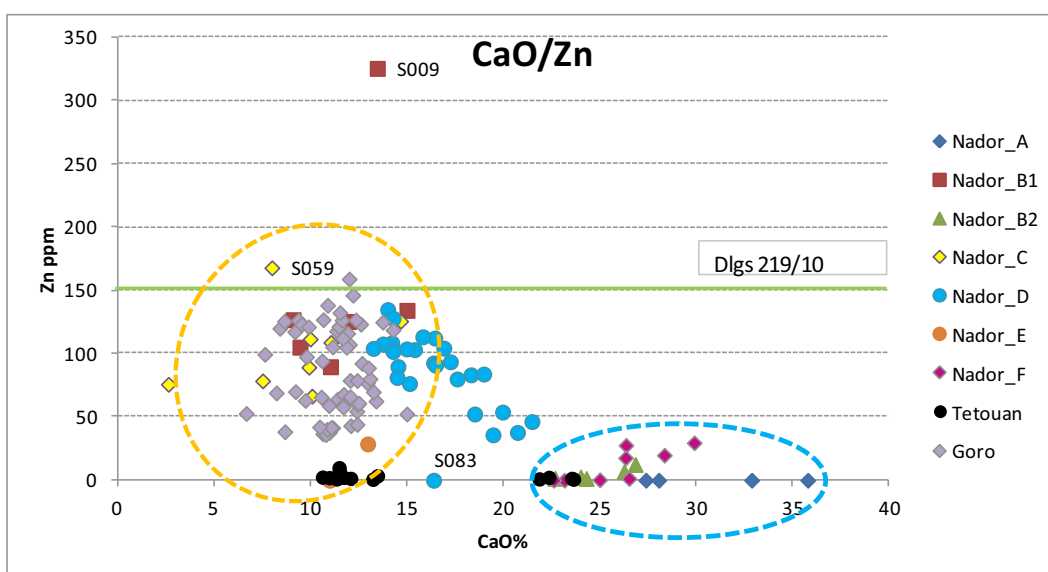


Figura 116 Diagramma binario CaO/Zn .

Ad esclusione di tre campioni (due della laguna di Nador e uno della Sacca di Goro) i campioni non superano i limiti imposti dal Dlgs 219/10. I campioni di Tetouan sono assolutamente privi di Zn.

Oltre a questi esempi è di grande interesse riprendere in esame le lagune descritte nel capitolo 2.3 e confrontare le medie di concentrazione dei metalli in traccia, facendo riferimento a Cr, Cu, Ni, Pb, V e Zn.

In primo luogo facciamo un confronto tra la laguna di Nador e altre lagune del Marocco; nello specifico si tratta di:

- **Laguna di Moulay Bouselham**: laguna della costa atlantica, tra Tangeri e Rabat, dati ottenuti da Maanan et al.,(2013).
- **Laguna di Sidi Moussa**: laguna della costa atlantica, a sud di Casablanca, dati da Maanan et al.,(2004).
- **Laguna di Oualidia**: laguna della costa atlantica, tra El Jadida e Safi, dati da Zourarah et al., (2007).

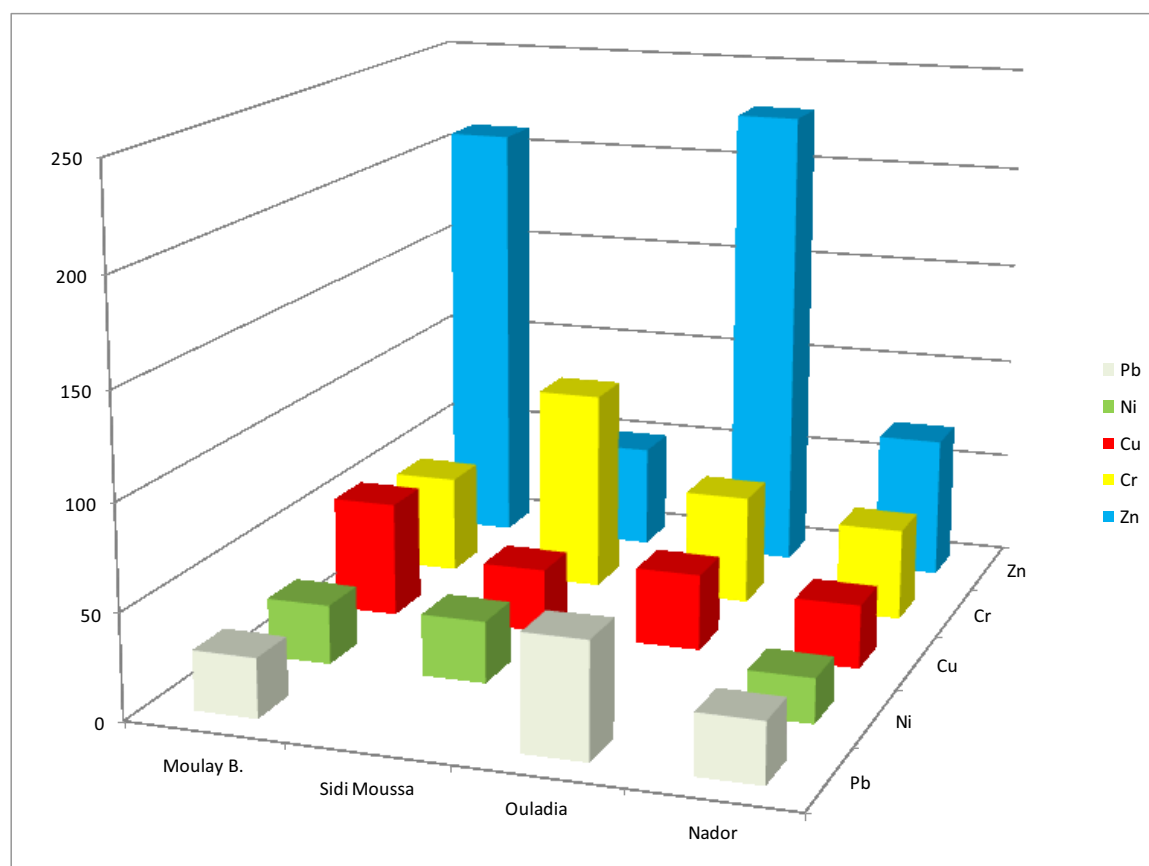


Figura 117 Istogrammi di confronto tra diverse lagune del Marocco per Pb, Ni, Cu, Cr, Zn.

Nel confronto con altre lagune marocchine del settore atlantico, la laguna di Nador mostra valori medi nella norma, se non molto al di sotto di altre località, come nel caso delle concentrazioni di Zn, che nelle lagune di Moulay Bouselham e Oualidia hanno valori quasi quattro volte superiori a quelli della laguna di Nador.

Si propone inoltre il confronto tra la laguna di Nador e altre lagune in cui la pressione antropica è molto forte e vi sono attività industriali, urbane e/o di allevamento ittico che le accomunano. Le lagune prese in esame sono:

- **Laguna di Agiasma, Grecia**: costa del Mar Egeo, dati da Christophoridis et al., (2007).
- **Laguna di Berre, Francia**: lungo la costa Mediterranea, dati da Arienzo et al., (2013).
- **Laguna di Szczecin, Polonia**: costa del Mar Baltico, dati da Glasby et al., (2004).
- **Laguna “dei Cigni”, Bohai Bay, Cina**: costa settentrionale del Mar Giallo, dati da Huang et al., (2013).
- **Sacca di Goro, Italia**: area settentrionale del Mar Adriatico, dati da Bertelli & Vaccaro, (2007).
- **Laguna di Venezia, Italia**: area settentrionale del Mar Adriatico, dati da Bettiol et al., (2003).

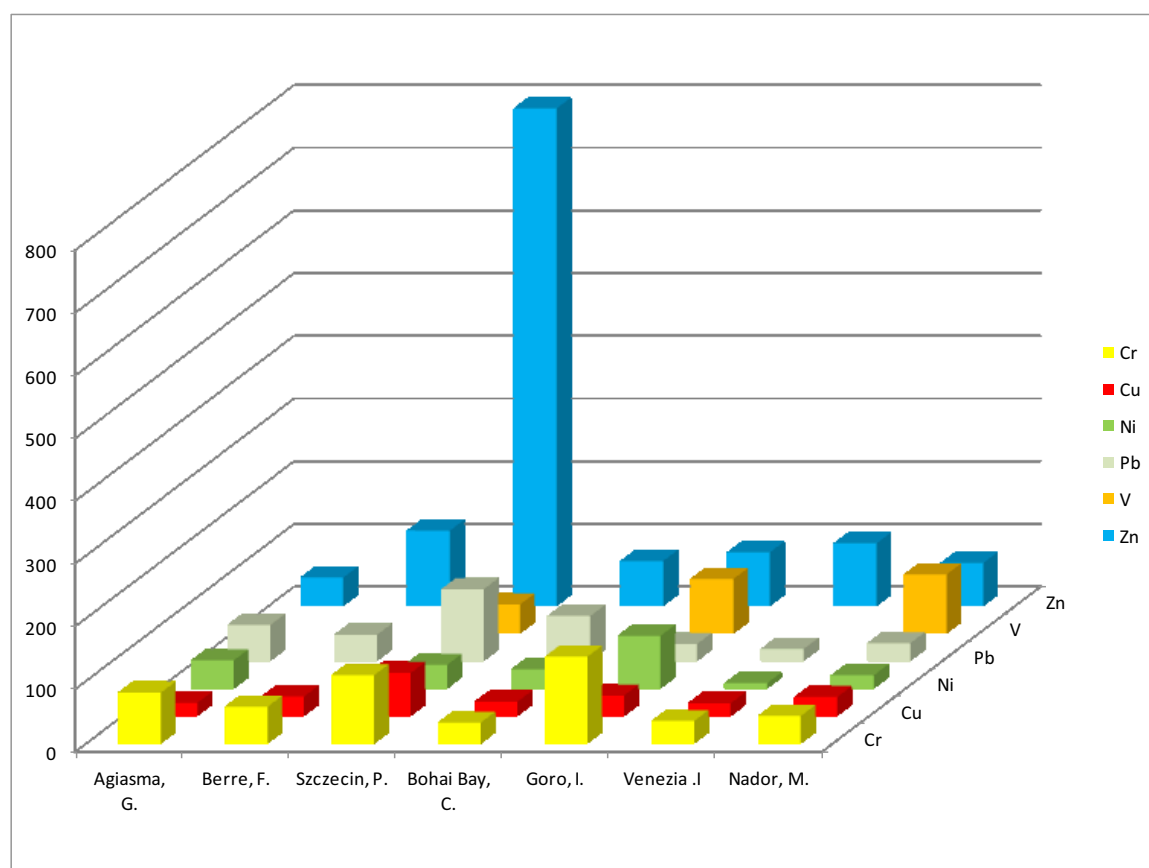
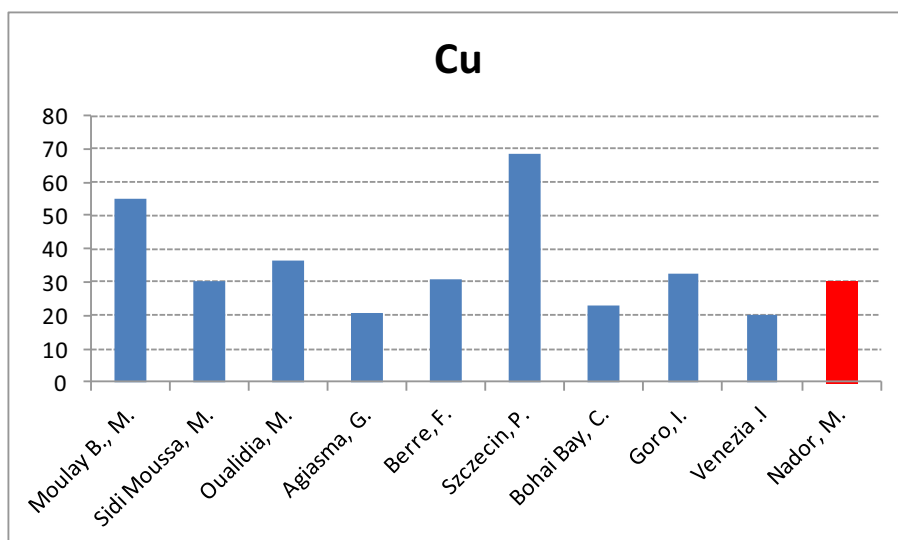
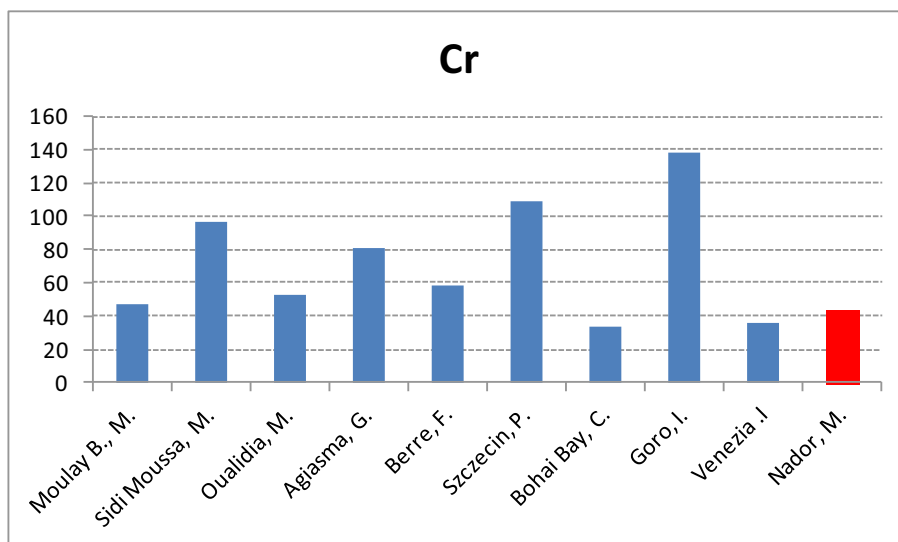
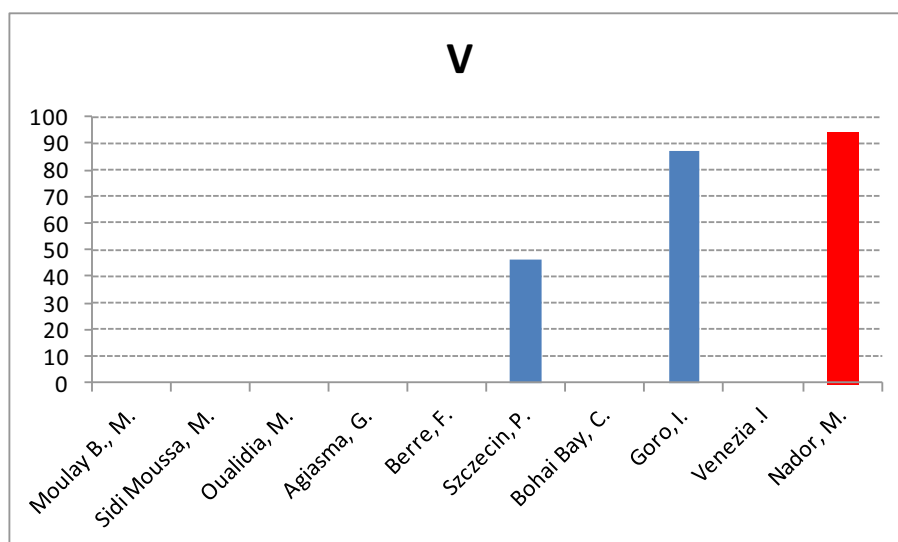
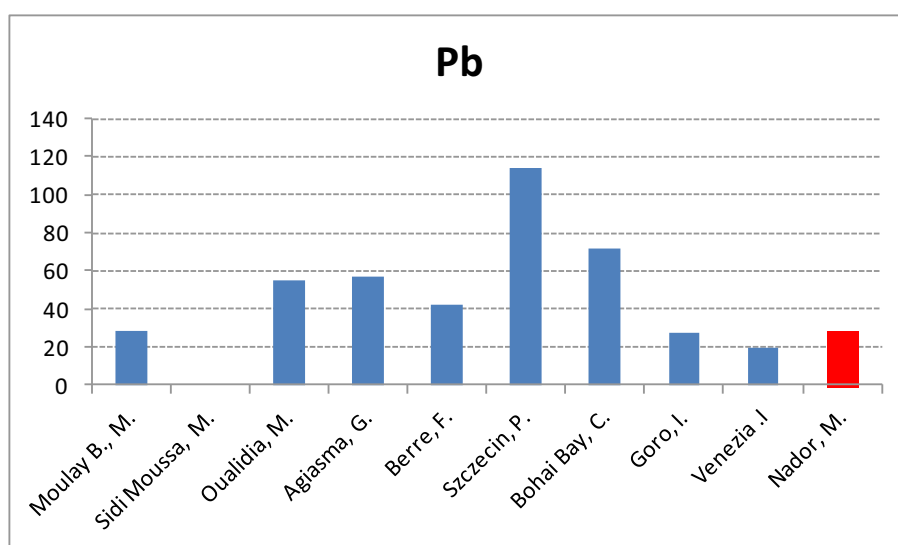
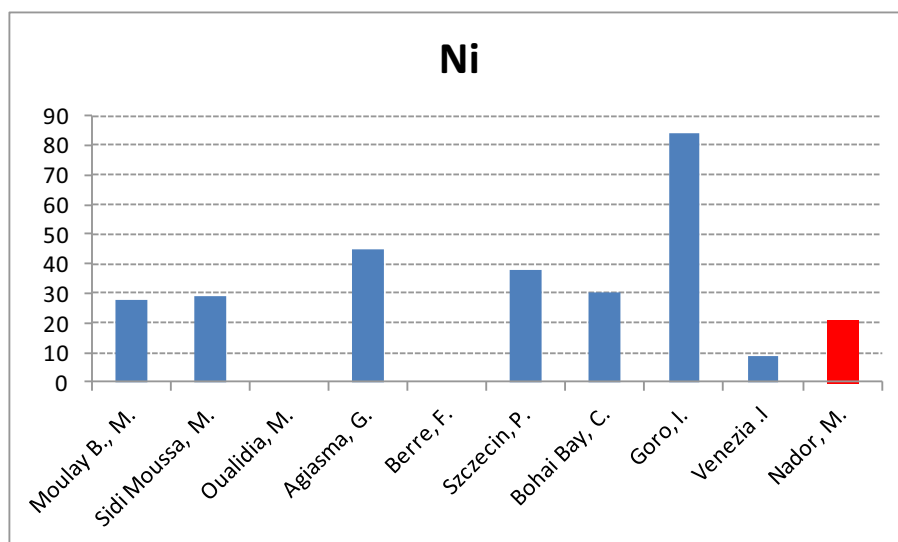


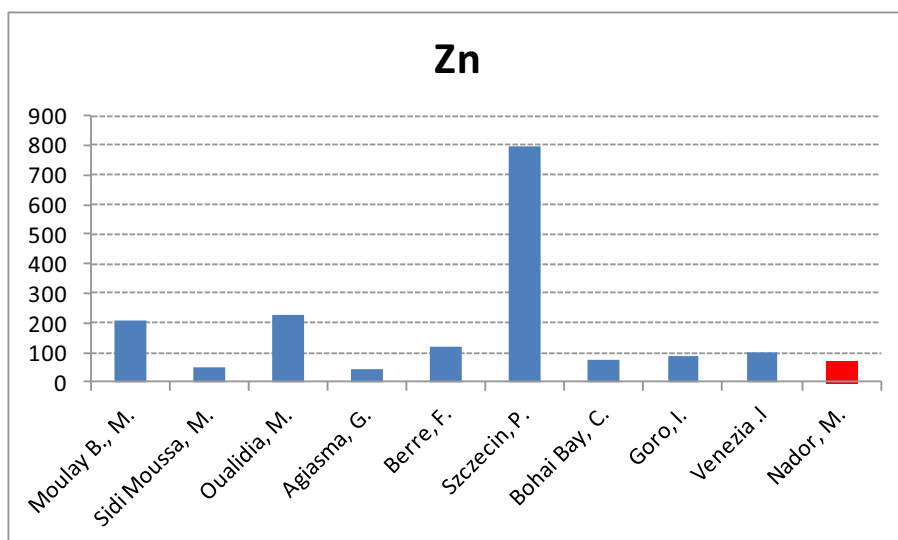
Figura 118 Istogrammi di confronto tra diverse lagune per Cr, Cu, Ni, Pb, V e Zn.

La laguna di Nador risulta avere dati geochimici nella media, rispetto alle lagune prese in esame, se non molto al di sotto, ad esempio per lo Zn che nella laguna di Szczecin è

circa 11 volte la concentrazione della laguna di Nador o per il Cu e il Cr dove la Sacca di Goro ha concentrazioni il doppio più elevate; solo nel caso del V la laguna di Nador mostra livelli elevati, comparabili a quelli della Sacca di Goro. Nel complesso i valori medi della laguna di Nador sono molto vicini ai valori medi della laguna di Venezia.







5.3.4 Fattore di Arricchimento

Per comprendere appieno l'eventuale livello di contaminazione della laguna di Nador è importante calcolare il Fattore di arricchimento o Enrichment Factor (EF), un indice utilizzato per valutare la presenza e l'intensità di deposizione al suolo o nel sedimento di un contaminante antropico.

L' EF di un contaminante viene determinato attraverso la normalizzazione della sua concentrazione dell'orizzonte superficiale (background). Tale valore è determinato facendo riferimento alla concentrazione di un elemento di riferimento, ovvero un metallo particolarmente stabile, caratterizzato cioè da assenza di mobilità verticale lungo il profilo e/o da fenomeni di degradazione superficiale, e per il quale viene verificata l'assenza di fenomeni di contaminazione antropica per tutte le stazioni di monitoraggio considerate; tipici elementi di riferimento utilizzati in letteratura scientifica internazionale sono alluminio - Al, vanadio - V, stronzio -Sr (Tapia et al., 2012).

L'elemento di riferimento deve essere rapportato al valore di fondo, che può essere determinato facendo riferimento a diversi valori:

- Valori medi della crosta terrestre;
- Valori della litologia di origine del sedimento, roccia madre (Bloundi et al., 2009);
- Valori di una stratigrafia abbastanza profonda da non avere subito contaminazione antropiche elevate, nel caso si voglia discriminare solamente la componente inquinante antropica (Di Giuseppe, 2010);

- Calcolata mediante gli standard internazionali stabiliti dalla normativa ISO 19258/2005 "Soil quality - Guidance on the determination of background values", che prevedono la determinazione del valore di fondo attraverso il calcolo del 95° percentile, dei dati ottenuti dopo aver rimosso gli eventuali valori anomali (Gonzales et al., 2007).

La formula per calcolare l'EF è la seguente (Szefer et al., 1998; Glasby et al., 2004):

[5]
$$EF = \frac{(C_x/C_{yb})_s}{(C_x/C_{yb})_c}$$

Dove:

C_x = Concentrazione dell'elemento da valutare

C_{yb} = concentrazione dell'elemento di riferimento

s = rispetto al campione

c = rispetto al background (roccia madre o composizione media della crosta terrestre)

Se il valore EF è (Rodríguez-Barroso et al., 2009):

- EF < 1, non c'è contaminazione;
- EF < 3 inquinamento di piccola entità;
- EF tra 3 e 5 inquinamento moderato;
- EF tra 5 e 10 inquinamento serio;
- EF tra 10 e 25 inquinamento grave;
- EF tra 25 e 50 inquinamento molto grave;
- EF > 50 inquinamento estremamente grave.

Per lo studio della laguna di Nador si calcolerà l'EF rispetto ai seguenti parametri:

- Valori roccia madre: per il settore del Gourogou, prendendo in esame i valori raccolti da altre pubblicazioni; per la fascia lungo il cordone litorale i dati dei campioni della spiaggia prospiciente Beni Ensar;
- Valori crosta terrestre da Wedepohl, (1995).

I valori ottenuti verranno messi in evidenza secondo la seguente legenda:

| | FATTORE DI ARRICCHIMENTO (ER) |
|--|--|
| | tra 3 e 5 = inquinamento moderato |
| | tra 5 e 10 = inquinamento serio |
| | tra 10 e 25 = inquinamento grave |
| | tra 25 e 50 = inquinamento molto grave |

Figura 119 Tabella con i valori di arricchimento dei sedimenti dell'area del cordone litorale per Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V e Zn.

Rispetto alla roccia madre:

Poiché la campagna di raccolta dei campioni di Nador non ha contemplato la selezione di materiale litologico proveniente dalle più probabili aree di origine continentale del comparto sedimentario, si sono presi in esame i dati raccolti in altre ricerche, in particolare facenti riferimento alle rocce tipiche dell'area vulcanica del Gourogou

| | El Azzouzi et al, (1999). | | | | | Aguila et al, (2004). | | MEDIA |
|-----|---------------------------|------|------|-----|------|-----------------------|-----|-------|
| ppm | AN | LA | LA | AN | BS | AN | AN | |
| V | 252 | 148 | 188 | 133 | 250 | 233 | 254 | 208 |
| Cr | 124 | 16 | 33 | 22 | 186 | 53 | 54 | 70 |
| Co | 30 | 10 | 20 | 19 | 39 | 21 | 22 | 23 |
| Ni | 39 | 6 | 16 | 9 | 122 | 7 | 8 | 30 |
| Zn | | | | | | 53 | 66 | 60 |
| Cu | | | | | | 14 | 13 | 14 |
| Al% | 8.06 | 8.37 | 8.74 | 8.5 | 8.53 | 0 | 0 | 8 |

Figura 120 Tabella con i valori delle rocce vulcaniche del Gourogou. AN: Andesiti, LA. Latiti e Bs: basalti.

Facendo riferimento ai dati medi espressi in Fig. 120, l'EF factor per i campioni dell'area del Gourogou, Gruppi B1 e C, risulta così costituito:

| | Gruppo C | | | | | | | | Gruppo B1 | | | | | |
|----|----------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|------|------|------|------|------|
| | N009 | N010 | N011 | N012 | N013 | S011 | S013 | S059 | S001 | S002 | S003 | S004 | S006 | S009 |
| Co | 0.63 | 0.60 | 0.44 | 0.60 | 0.43 | 0.58 | 0.75 | 0.68 | 0.46 | 0.47 | 0.34 | 0.61 | 0.53 | 0.98 |
| Cr | 0.93 | 0.72 | 0.67 | 0.83 | 0.90 | 0.55 | 1.22 | 0.30 | 0.39 | 0.36 | 1.18 | 0.45 | 0.47 | 0.50 |
| Cu | 2.24 | 2.27 | 1.97 | 1.61 | 1.07 | 2.93 | 1.10 | 2.41 | 1.60 | 2.01 | 3.43 | 3.69 | 2.59 | 4.78 |
| Ni | 0.44 | 0.48 | 0.33 | 0.39 | 1.35 | 0.68 | 0.39 | 0.30 | 0.39 | 0.38 | 0.27 | 0.56 | 0.62 | 0.30 |
| V | 0.54 | 0.43 | 0.35 | 0.54 | 0.28 | 0.39 | 0.94 | 0.37 | 0.33 | 0.33 | 0.46 | 0.41 | 0.35 | 0.58 |
| Zn | 1.09 | 1.10 | 0.85 | 0.67 | 0.51 | 1.43 | 0.62 | 1.57 | 0.92 | 1.28 | 1.67 | 1.57 | 1.15 | 3.98 |

Figura 121 Tabella con i valori di arricchimento dei sedimenti dell'area del Gourogou per Co, Cr, Cu, Ni, Pb; V e Zn.

Valutando i dati (Fig.121), si può considerare che il V, notoriamente elevato nella laguna, non sia imputabile ad impatto antropico ma che derivi totalmente dalla litologia del Gourogou. Cu e Zn sono moderatamente arricchiti, con degli arricchimenti più consistenti nei campioni S003 ed S004 per Cu e il campione S009 per Cu e Zn.

Nel complesso l'area non ha livelli preoccupanti di arricchimento rispetto ai metalli pesanti presi in considerazione.

Per valutare il livello di arricchimento dei campioni raccolti lungo il cordone litorale, ovvero i Gruppi B2 ed F, abbiamo fatto riferimento ai campioni della spiaggia di Beni Ensar, Gruppo A, in quanto ottimi rappresentati della geochimica dei sedimenti marini del Mediterraneo.

| | Gruppo B2 | | | | | Gruppo F | | | | | | | |
|----|-----------|------|------|------|------|----------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| | N005 | N006 | N007 | S007 | S008 | S050 | S092 | S094 | S231 | S242 | S244 | S249 | S250 |
| Co | 1.97 | 1.53 | 0.91 | 0.55 | 0.94 | 0.85 | 0.83 | 0.81 | 1.09 | 0.00 | 0.96 | 1.56 | 0.00 |
| Cr | 6.11 | 3.68 | 1.77 | 0.27 | 0.68 | 1.76 | 1.37 | 1.44 | 1.15 | 0.00 | 0.98 | 2.14 | 2.44 |
| Cu | 2.17 | 1.41 | 1.53 | 0.78 | 0.81 | 0.93 | 1.12 | 1.32 | 1.32 | 0.97 | 0.70 | 0.53 | 1.98 |
| Ni | 1.05 | 0.00 | 0.39 | 0.00 | 0.00 | 1.28 | 2.27 | 4.04 | 2.88 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| V | 6.01 | 4.90 | 1.15 | 0.79 | 1.17 | 1.35 | 1.40 | 1.40 | 1.27 | 1.00 | 1.43 | 1.46 | 1.54 |
| Zn | 10.12 | 6.19 | 2.52 | 1.16 | 1.46 | 10.58 | 12.24 | 12.13 | 9.10 | 0.00 | 1.41 | 0.39 | 0.00 |

Figura 122 Tabella con i valori di arricchimento dei sedimenti dell'area del cordone litorale per Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V e Zn.

La condizione dei sedimenti del cordone litorale mostrano un EF moderato per gran parte dei campioni. Vi sono alcuni elementi che destano maggiore attenzione: Zn risulta essere particolarmente arricchito, segnale di un probabile inquinamento in atto. I campioni maggiormente arricchiti sono N005 ed N006 per Cr, V e Zn; i campioni S050, S092, S231 per Zn; il campione S094 per Ni e Zn.

Tali arricchimenti, oltre ad una componente antropica sono causati probabilmente dall'interferenza dei campioni del Gourogou, che hanno mediamente valori anche oltre 10 volte più elevati di quelli del sedimento della spiaggia mediterranea.

Rispetto alla crosta terrestre:

Di seguito riportiamo la tabella con i fattori di arricchimento di Cr, Cu, Ni, Pb, V e Zn tenendo come valore di fondo la concentrazione media della crosta terrestre (Wedepohl, 1995).

| | | Cr | Cu | Ni | Pb | V | Zn |
|------------------|------|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| Gruppo A | N001 | 0,8 | 2,2 | 0,0 | 9,0 | 3,1 | 0,0 |
| | N002 | 0,9 | 2,3 | 0,0 | 7,5 | 2,4 | 0,0 |
| | N003 | 1,1 | 2,1 | 0,0 | 4,7 | 2,0 | 0,0 |
| | N004 | 1,4 | 2,7 | 0,0 | 5,4 | 2,4 | 0,0 |
| Gruppo B1 | S001 | 1,4 | 2,9 | 1,2 | 1,9 | 2,3 | 1,9 |
| | S002 | 1,3 | 3,6 | 1,1 | 3,7 | 2,4 | 2,7 |
| | S003 | 4,3 | 6,1 | 0,8 | 4,6 | 3,3 | 3,5 |
| | S004 | 1,6 | 6,6 | 1,7 | 3,3 | 3,0 | 3,3 |
| | S006 | 1,7 | 4,6 | 1,8 | 3,3 | 2,5 | 2,4 |
| | S009 | 1,8 | 8,6 | 0,9 | 5,7 | 4,2 | 8,4 |
| Gruppo B2 | N005 | 6,5 | 5,1 | 0,4 | 4,9 | 14,6 | 1,5 |
| | N006 | 3,9 | 3,3 | 0,0 | 4,2 | 11,9 | 0,9 |
| | N007 | 1,9 | 3,5 | 0,2 | 4,6 | 2,8 | 0,4 |
| | S007 | 0,3 | 1,8 | 0,0 | 3,6 | 1,9 | 0,2 |
| | S008 | 0,7 | 1,9 | 0,0 | 0,0 | 2,8 | 0,2 |
| Gruppo C | N009 | 3,4 | 4,0 | 1,3 | 2,4 | 3,9 | 2,3 |
| | N010 | 2,6 | 4,1 | 1,4 | 3,3 | 3,1 | 2,3 |
| | N011 | 2,4 | 3,5 | 1,0 | 2,3 | 2,5 | 1,8 |
| | N012 | 3,0 | 2,9 | 1,2 | 1,7 | 3,9 | 1,4 |
| | N013 | 3,3 | 1,9 | 4,0 | 0,6 | 2,0 | 1,1 |
| | S011 | 2,0 | 5,2 | 2,0 | 4,6 | 2,8 | 3,0 |
| | S013 | 4,4 | 2,0 | 1,2 | 1,5 | 6,7 | 1,3 |
| | S059 | 1,1 | 4,3 | 0,9 | 3,9 | 2,7 | 3,3 |

| | | | | | | | |
|-----------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Gruppo D | S021 | 1,7 | 3,0 | 1,2 | 3,7 | 2,5 | 1,9 |
| | S020 | 1,9 | 5,3 | 2,1 | 4,5 | 2,7 | 2,9 |
| | S025 | 2,0 | 4,5 | 1,7 | 4,1 | 2,8 | 3,1 |
| | S034 | 1,6 | 3,3 | 1,4 | 4,4 | 2,6 | 2,2 |
| | S035 | 1,4 | 2,8 | 1,1 | 4,0 | 2,6 | 1,9 |
| | S037 | 2,2 | 4,3 | 2,2 | 3,8 | 3,2 | 2,9 |
| | S064 | 2,0 | 4,8 | 2,0 | 3,0 | 3,1 | 3,0 |
| | S083 | 1,0 | 2,9 | 0,0 | 0,2 | 2,3 | 0,0 |
| | S096 | 2,2 | 3,4 | 3,6 | 4,0 | 3,1 | 2,6 |
| | S099 | 2,2 | 4,1 | 2,1 | 3,7 | 3,1 | 2,7 |
| | S109 | 2,0 | 3,9 | 1,7 | 3,6 | 2,9 | 2,5 |
| | S111 | 1,4 | 2,0 | 1,0 | 1,4 | 2,7 | 1,8 |
| | S120 | 2,0 | 3,8 | 1,9 | 4,1 | 3,0 | 2,4 |
| | S129 | 2,0 | 2,6 | 4,0 | 1,6 | 2,5 | 1,9 |
| | S143 | 2,3 | 3,7 | 2,4 | 3,8 | 3,0 | 2,7 |
| | S145 | 2,3 | 3,4 | 2,6 | 2,2 | 2,9 | 2,5 |
| | S147 | 2,2 | 2,7 | 2,2 | 1,6 | 2,7 | 2,2 |
| | S164 | 2,2 | 2,8 | 8,5 | 1,4 | 2,6 | 2,0 |
| | S173 | 1,9 | 4,6 | 2,0 | 1,7 | 2,8 | 2,4 |
| | S180 | 2,2 | 3,4 | 2,1 | 3,2 | 3,1 | 2,4 |
| | S186 | 1,7 | 2,8 | 2,2 | 1,5 | 2,6 | 1,8 |
| | S192 | 2,4 | 3,5 | 2,8 | 3,8 | 3,0 | 2,5 |
| | S221 | 2,3 | 3,3 | 2,6 | 2,3 | 2,9 | 2,4 |
| | S227 | 2,5 | 3,4 | 2,6 | 2,5 | 3,0 | 2,4 |
| | S230 | 2,1 | 4,7 | 3,8 | 2,2 | 3,2 | 2,4 |
| | S246 | 2,3 | 3,4 | 2,5 | 3,6 | 3,1 | 2,4 |
| | S248 | 2,3 | 3,4 | 2,5 | 3,5 | 3,1 | 2,3 |
| Gruppo E | S151 | 1,3 | 1,6 | 1,3 | 0,3 | 2,0 | 1,3 |
| | S157 | 1,8 | 1,6 | 0,0 | 0,5 | 2,2 | 0,0 |
| Gruppo F | S050 | 1,9 | 2,2 | 0,5 | 5,0 | 3,3 | 1,6 |
| | S092 | 1,5 | 2,6 | 0,9 | 2,0 | 3,4 | 1,8 |
| | S094 | 1,5 | 3,1 | 1,7 | 2,0 | 3,4 | 1,8 |
| | S231 | 1,2 | 3,1 | 1,2 | 0,9 | 3,1 | 1,3 |
| | S242 | 0,0 | 2,3 | 0,0 | 1,5 | 2,4 | 0,0 |
| | S244 | 1,1 | 1,6 | 0,0 | 7,2 | 3,5 | 0,2 |
| | S249 | 2,3 | 1,2 | 0,0 | 4,5 | 3,5 | 0,1 |
| | S250 | 2,6 | 4,6 | 0,0 | 1,2 | 3,7 | 0,0 |

Figura 123 Tabella con i valori di arricchimento per Cr, Cu, Ni, Pb, V e Zn utilizzando come background i valori della crosta terrestre

Utilizzando questa metodologia, la laguna di Nador presenta una certa contaminazione in tutta la laguna: per motivi di trattazione si preferisce mettere in evidenza solo i casi con i valori più elevati ($ER > 10$).

Gruppo A: l'elemento che desta maggior preoccupazione è il Pb, che pare molto arricchito in tutti i campioni.

Gruppo B1: i campioni S001, S002, S006 sono quelli con arricchimenti meno preoccupanti. S003 ed S004 hanno arricchimenti per il Cu, che ricordiamo comunque non supera i limiti di legge italiani. Il campione S009, il più meridionale della serie, a cavallo con il Gruppo C, ha arricchimenti per Cu, Pb e Zn.

Gruppo B2: il gruppo è mediamente poco arricchito, ad esclusione dei campioni N005 ed N006 che hanno arricchimenti preoccupanti per il Vanadio, inoltre il campione N005 eccede anche in Cr e Cu: questi due campioni erano già stati individuati come anomali nel corso della trattazione sulla geochimica.

Gruppo C: i campioni che hanno valori di arricchimento molto preoccupanti sono il campione S011 per il Cu ed S013 per il V: questi campioni sono i più vicini al promontorio dell'Attaloyoum.

Gruppo D: il campione S020 mostra arricchimento nel Cu e si trova molto vicino ai campioni S009 ed S011: si può supporre che il Cu derivi dalla litologia del Promontorio dell'Attaloyoum, al quale sono vicini. Il campione S164 è arricchito in Ni: esso si trova vicino al delta dell'Oued Mrader, il quale trasporta direttamente in mare i reflui carichi dei fertilizzanti e pesticidi dilavati dall'area agricola del Bou Areg.

Gruppo E: probabilmente la granulometria più elevata (bassi contenuti di Al_2O_3) è il principale motivo per cui questo gruppo non ha valori di arricchimento preoccupanti.

Gruppo F: il campione S244 è molto arricchito in Pb e si trova nei pressi di uno degli spit dell'area del cordone litorale meridionale.

6. La malacofauna attuale della laguna di Nador

I sedimenti ricavati dalla seconda campionatura (gennaio 2013) sono stati raccolti e conservati assieme alle conchiglie che vi si trovavano all'interno. Si ricorda che il campionamento è stato eseguito ad una profondità di 5 cm dalla superficie.

Ad oggi vi sono scarse pubblicazioni scientifiche che hanno come oggetto lo studio della malacofauna acquatica endogena della laguna di Nador. Esistono invece molti studi effettuati sulla dinamica ed estensione del fitoplancton e della materia organica sospesa, poiché gli abitanti della laguna hanno dovuto combattere negli ultimi decenni con l'abbassamento progressivo nell'ossigenazione delle acque lacustri, problema legato principalmente all'incremento dell'eutrofizzazione, quest'ultima connessa a sua volta con la perdita di produttività della laguna (Flower et al., 2009 ; El Madani et al., 2011 ; Daoudi et al., 2012). Abouhala et al., (1995) evidenzia nella sua pubblicazione come vi sia un rapporto diretto e proporzionale tra ortofosfati (materia organica) e ossigeno disciolto: l'incremento del primo fattore segna la diminuzione del secondo.

Tutto ciò va ad intaccare due settori importanti dell'economia dell'area: il turismo, con un abbassamento della qualità dell'ambiente, sia da un punto vista sanitario che estetico (Ruiz et al., 2006), e l'attività ittica, che risulta essere ancora oggi una delle primarie attività locali (Abouhala, 1991). I pescatori della laguna vivono della pesca praticata per lo più in mare aperto con metodi tradizionali (Fig.123), mentre all'interno della laguna vi sono numerose aree dedicate alla piscicoltura e allevamento di mitili (Malouli Idrissi et al., 2002). La maggioranza del pesce e dei molluschi vengono venduti all'estero (Abouhala et al., 1999), in particolare ai Paesi dell'Unione Europea⁶, tanto che vi sono periodiche commissioni che, in collaborazione con il Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Eaux et Forêts del Marocco, mirano a valutare la regolarità delle norme igienico sanitarie applicate dai pescatori e autorità locali in ottemperanza delle direttive dell'UE (Commission Européenne, 2001).

La laguna di Nador è uno dei siti più importanti, in particolare per l'esportazione di molluschi. Non sembra un caso, alla luce delle considerazioni fatte precedentemente

⁶ L'Italia è il principale Paese verso cui i pescatori e allevatori della laguna di Nador spediscono il pescato, in particolare Branzini e Orate.

sulle tipologie delle pubblicazioni citate, che nel Rapporto redatto nel giugno del 2001, la commissione valutò insufficienti le competenze nello stoccaggio delle materie prime e nella valutazione della qualità dei mitili (problemi come la salmonella), ma invece risultino adatte le indagini sulla qualità delle acque con l'analisi del fitoplancton e della materia organica sospesa (in particolare con riferimenti alla escherichia coli).



Figura 124 Imbarcazione tradizionale dei pescatori (da Malouli Idrissi et al., 2002) ; a destra veduta sul porto di Nador.

Nonostante ciò spesso nelle pubblicazioni scientifiche si citano informazioni sulla malacofauna per avvalorare la teoria della zonizzazione della laguna di Nador, con la descrizione delle aree in cui vivono le varie specie animali e vegetali, in particolare i molluschi Bivalvi e Gasteropodi.

I primi studi sulla fauna ittica della laguna di Nador risalgono agli anni '60: già allora la laguna stava attraversando un periodo di transizione, con variazioni graduali nella salinità e nella temperatura dell'acqua. Negli anni 60 in tutto il mondo era in atto un'intensa crescita urbana e industriale, che avvenne anche nella laguna di Nador, con conseguenze sulla qualità dell'ambiente. Ad aggravare tutto ciò, la conformazione stessa della laguna rendeva insufficiente il ricambio di acque: ciò causò abbassamenti drastici nell'ossigenazione, circostanza che in alcuni casi ha fatto sparire specie animali e vegetali che non trovavano più nella laguna un habitat adatto.

Anni 70

Nel 1975 (Saubade et al., 1976) si comincia una campagna di studio della stratigrafia superiore: a livello macroscopico la maggior parte della laguna mostra un fondo fangoso ricoperto da uno strato di 5-10 centimetri di terreno ossidato, di colorazione rossastra. Tra i vari comparti che si prendono in esame vi è anche l'aspetto faunistico, con uno studio approfondito sulla malacofauna, in particolare i Bivalvi e i Gasteropodi. L'identificazione viene fatta attraverso lo studio di esemplari morti, ovvero attraverso l'identificazione della specie dalle conchiglie. Non trattandosi di un'indagine ecologica, il rischio è che alcuni esemplari siano stati trasportati post mortem nell'area di raccolta, ma

la ricerca si è avvalsa anche di altre ricognizioni e di interpretazioni in base all'habitat in cui prediligono vivere le varie specie, in modo da rendere plausibili e valide le osservazioni fornite.

Per quanto riguarda l'habitat, si può brevemente dire che la vegetazione della laguna è caratterizzata dalla presenza delle specie *Cymodocea Nodosa* e *Caulerpa Prolifera*, che formano un tappeto, specialmente nella zona centrale; ai bordi la vegetazione dirada, a causa dell'aumento di grana del sedimento. Nelle aree all'estremo nord e a sud troviamo una pianta di ambiente paralico, la *Ruppia Spiralis* e alghe Clorofite lungo la riva (Fig. 124). Le zone prive di alghe sono quelle lungo la Bochana e le rive dove vi è un apporto sedimentario importante (Geulorget et al., 1987; Abouhala, 1991; Flower et al., 2009).



Figura 125 La macroflora della laguna di nador. A= *Cymodocea Nodosa*; B= *Caulerpa Prolifera*; C= *Ruppia Spiralis* (da Wikipedia.it)

Poiché i campioni raccolti nel gennaio del 2013 (vedi cap.4), appartengono tutti all'area settentrionale della laguna, riporteremo le conclusioni di Saubade et al., (1976) facendo riferimento specialmente a quest'area (Fig.123).

Comunque in generale gli studi rivelano che la laguna, come avviene per altri comparti ambientali, è caratterizzata da una forte zonizzazione anche negli habitat dei Bivalvi e dei Gasteropodi, che però si sono gradualmente modificati nel corso del tempo. La fauna è un ottimo indicatore del cambiamento di salinità intercorso negli ultimi decenni. La laguna può essere diversificata per i gruppi di specie che le abitano:

- Zona I: estremità SE, ha scarsissima influenza da parte delle acque del Mediterraneo perciò sono rare le specie prettamente marine.
- Zona II: NO, vicino alla Bochana, specie con impronta fortemente marina. Qui è stata ritrovata una salinità molto elevata.

- Zona III: si trova tra le due precedenti e caratterizza la maggioranza della laguna; ha carattere salmastro, grazie alla confluenza tra l'acqua del Mar Mediterraneo e quella continentale, in particolare dell'Oued Selouane.
- Zona IV: al centro della laguna troviamo specie marine, in corrispondenza "dell'ombelico" formato dalla corrente che entra dalla Bochana.

A nord vengono riconosciute le seguenti specie:

| BIVALVI | 84 | 94 | 96 | 1001 | 1018 | 1025 |
|-------------------------|-----|----|-----|------|------|------|
| Modiolus Barbatus | | | | | XXX | |
| Palliolus Byalinum | | | XX | | | XX |
| Mantellum Inflatum | | | XX | | | |
| Anomia Ehippium | | | | XXX | | XXX |
| Lucinella Divaricata | | | X | | | |
| Loripes Lacteus | XXX | XX | XXX | | XXX | XXX |
| Loripinus Fragilis | XXX | XX | XXX | | XXX | XXX |
| Cerastoderma glaucum | XX | | XXX | XX | XXX | XXX |
| Parvicardium exigum | | | XX | | | XX |
| Acanthocardia Macronata | | | XXX | | XXX | |
| Pitar Rude | | | | | X | |
| Clausinella Brogniarti | | | X | | | |
| Chamelea Gallina | XX | | X | | | |
| Venerupis Aurea | | | XX | | | XX |
| Tellinella pulchella | | | | | X | X |
| Tellinella Distrorta | | | XX | | | |
| Abra Alba | | | XX | | X | |
| Spisula subtruncata | | | X | | | |
| Corbula Gibba | | | XX | XX | | XX |

| GASTEROPODI | 84 | 94 | 96 | 1001 | 1018 | 1025 |
|-------------------------------|----|-----|-----|------|------|------|
| Gibbula Ardens | | | X | | | |
| Jujubinus Graviniae | | | | | X | |
| Jujubinus Striatus | XX | X | XX | | | |
| Tricolia Pullus | XX | | XX | | XXX | XX |
| Hydrobiae | | | | | | XX |
| Turbella Parva | | | XX | | | |
| Rissoa Violacea | | | | | | XX |
| Bittium Reticulatum | XX | | XXX | | XXX | XX |
| Bittium Reticulatum latrillei | | XXX | | | | |
| Turbonilla delicata | | | | | | X |
| Hinia reticulata | | | | | XX | XX |
| Bulla Striata | | X | | | | |

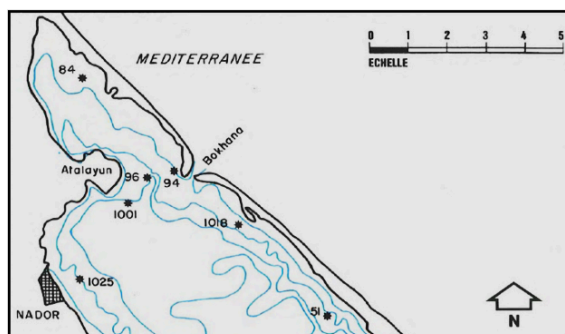


Figura 126 Tabelle con l'elenco delle specie di Bivalvi e Gasteropodi riconosciuti nell'area settentrionale di Nador; in Basso a destra la mappa per l'identificazione dell'area di prelievo (da Saubade et al.,1976).

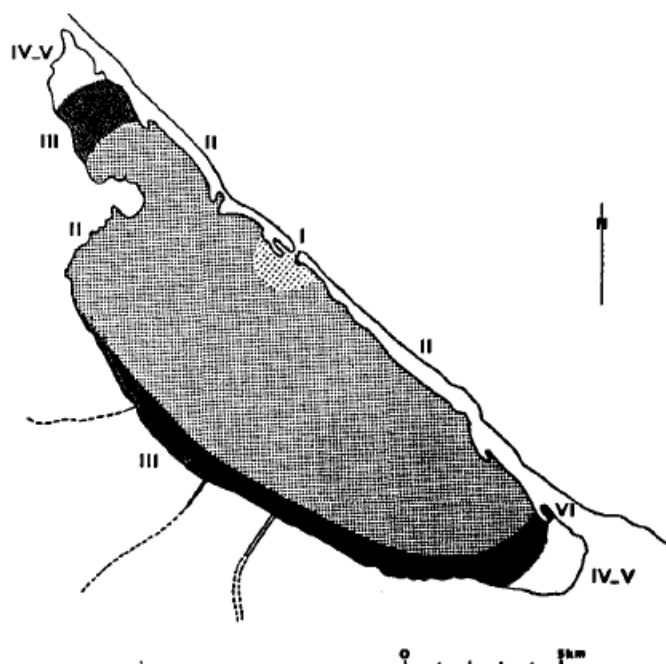
Le taglie degli esemplari raccolti sono generalmente normali o piccole: ciò può essere dovuto al fatto che nella laguna questi molluschi non trovano condizioni di vita ottimali. Fanno eccezione l'*Acanthocardia Macronata* e alcune specie di *Nessariidae* (presenti nell'area meridionale); tutte le *Rissoidae* sono naturalmente di piccole dimensioni. Alcune famiglie sono completamente assenti come *Naticidae*, *Calyptaedidae*, *Turritellidae*, *Murricidae*, per esempio. Mancano totalmente i generi *Ostrea* e *Mytilus*, spesso presenti nelle lagune.

Anni 80

Negli anni '80 una nuova campagna mira a definire alcuni parametri ambientali della laguna, tra cui la popolazione di fitoplancton, la macroflora e la macrofauna: in questo caso si tratta di un campionamento ecologico (Geulorget et al., 1987)⁷.

Le conclusioni a cui si giunge sono spesso le medesime: vi è una zonizzazione che caratterizza la superficie occupata dagli habitat delle specie animali (Fig.126). Però rispetto ai dati della campagna del 1975 vi sono alcune differenze, poiché le condizioni nell'ossigenazione, nella concentrazione del fitoplancton e della salinità, continuano a mutare.

Il primo aspetto è una restrizione degli habitat delle specie che vivono nelle zone estreme (nord-sud) della laguna, mentre le specie che prima si ritrovavano essenzialmente nell'area centrale tendono a occupare spazi più estesi.



⁷ Il metodo prevede la raccolta di una sezione del substrato; il materiale viene portato in laboratorio e qui setacciato. Le varie specie che si trovavano nel sedimento, sia animali che vegetali, vengono fissate e conservate in alcool denaturato, e successivamente studiate e catalogate. In questo modo si identificano le specie che effettivamente vivono nell'area campionata.

Figura 127 Carta schematica delle zone di confinamento. (da Geulorget et al., 1987)

La zona centrale, caratterizzata dalla vegetazione di *Cymodocea Nodosa* e *Caulerpa Prolifera* è abitata in particolare da *Echinodermata* (comunemente detti ricci di mare): questi animali sono molto sensibili alle condizioni ambientali, perciò basta andare verso i bordi che scompare la loro presenza. Inoltre vi sono numerose *Ophiuroidea* (dette volgarmente stelle marine serpentine), come *Holothuria Polii*, *Cucumaria Planki* e *Paracentrotus Lividus*, le quali testimoniano il contributo marino in quest'area lagunare.

L'endofauna è costituita essenzialmente dai *Policheti* (una sorta di Vermi di mare): *Lumbriconereis Impatiens*, *Harmothoe Spinifera*, *Nerine Foliosa*, *Eunice Pennata*, *Scololepis Ciliata*, *Nereis Caudata*, *Pectinaria Koreni*, *Capitella Capitata*, e i molluschi *Dentalium sp.*⁸, *Lucina Fragilis*, *Tellina Distorta*, *Abra Alba*, *Musculus costulatus* e *Corbula Gibba*.

La fauna vagile⁹ è costituita essenzialmente da gasteropodi erbivori come: *Murex Brandaris*, *Murex Trunculus*, *Cerithium Vulgatum* e *Macra Corallina*, specialmente confinati nell'area di riva opposta al canale, tra Kariat e Nador.

Nell'area di transizione tra la *Cymodocea Nodosa* e la *Ruppia Spiralis* (nord e sud laguna), gli *Echinodermata* scompaiono e troviamo invece specie miste moderatamente confinate come i Polichete (*Glycera Convoluta*, *Nephtys Hombergii*) e i Molluschi (*Venerupis Aurea*, *Venerupis Decussata*, *Loripes Lacteus*, *Gastrana Fragilis*).

Le zone alle estremità nord e sud, dove si trova la *Ruppia Spiralis*, sono abitate da fauna vagile come i crostacei *Gammarus Groupe Locusta*, *Microdeutopus Gryllotalpa*, *Corophium Insidiosum* e molluschi gasteropodi *Hydrobiidae*. L'endofauna è caratterizzata dalla presenza di Bivalvi, *Cerastoderma glaucum*, *Abra Ovata* e i *Policheti* *Nereis Diversicolor* e le larve di *Chironomidae*.

Gli spit del settore meridionale del cordone litorale sono privi di macrofauna endogena: l'area è tappezzata da ciano batteri e qualche gasteropode erbivoro (*Hydropia sp.*)

La ricchezza in generi e quantità diminuisce progressivamente dal centro verso le sponde: questo fenomeno è più pronunciato a nord, specialmente in prossimità di Nador, dove la diminuzione del numero di specie è aggravata dai flussi sporadici di acque interne, spesso inquinate, provenienti dai vari Oueds e dai rifiuti urbani.

Da un punto di vista della quantità, il peso secco della biomassa (da 34 a 47 g/m³) risulta particolarmente basso, tanto da delineare che la laguna di Nador negli anni '80 è una delle meno produttive lagune marine del Mediterraneo.

⁸ Classe degli Scafopodi, ordine dei Dentalidi. La conchiglia, conica e leggermente incurvata è simile a una minuscola zanna di elefante.

⁹ Per fauna vagile si intende l'insieme delle forme animali mobili, capaci cioè di attivi spostamenti autonomi, e sedentarie capaci comunque di movimento anche se piuttosto limitato nello spazio o nel tempo. (da www.udinecultura.it, sezione Museo Storia Naturale)

Le specie più diffuse per quantità di esemplari e aree di dimora sono *Capitella Capitata*, *Corbula Gibba*, *Brachydontes Marioni*, *Loripes Lacteus* et *Bittium Reticulatum*.

Inoltre la ricerca si pone un quesito interessante. In passato la laguna di Nador ha avuto dei periodi in cui le aperture del cordone litorale erano completamente chiuse (vedi cap. 4.2 Genesi delle aperture del cordone litorale), ma le specie presenti a carattere prettamente marino non si sono estinte. Secondo gli autori questo è accaduto poiché questa laguna è una delle più estese e profonde del Mediterraneo, ed è proprio il grande volume d'acqua che ha impedito la scomparsa delle specie marine presenti. Un altro esempio analogo è il Mar Caspio che, nonostante non sia legato al Mare dal Quaternario, mantiene al suo interno la presenza di specie marine, proprio per lo stesso motivo.

Anni 90

Lefebvre et al. (1996) propongono uno studio per valutare l'evoluzione che si è avuta nell'ultimo decennio, mettendo a confronto i dati raccolti con quelli esposti da Geulorget et al. (1987).

Tra il 1982 e il 1993 si è potuto riscontrare in tutta la laguna un incremento nel volume di fitoplancton presente, in particolare vicino al depuratore di Nador e all'Oued Selouane che scaricano in mare materiale organico che nutrimento utile per la clorofilla A, che così si moltiplica. Abhouhala (1991)¹⁰ aggiunge che il fitoplancton può essere usato come indicatore degli apporti idrici della laguna: l'acqua marina che entra dalla Bokhana è povera di fitoplancton e si arricchisce man mano che si avvicina alle coste, dove incontra le acque continentali.

Le specie presenti nella laguna sono essenzialmente le stesse. Le aree confinate si fanno più separate mentre le zone meno confinate si espandono. Negli spit lungo il settore meridionale del cordone litorale non c'è più il tappeto di cianobatteri che si è lentamente spostato verso le estremità del bacino. Tutto ciò indica un aumento del confinamento della laguna senza però che vi sia una sostanziale differenza nel sistema generale.

Ma il cambiamento più evidente è una massiccia perdita di biodiversità, in particolare nelle aree meno confinante. Ad esempio nella zona II i grandi Echinodermi

¹⁰ Lo stesso autore in un articolo di poco posteriore (Abhouhala et al., 1995), esaminando il problema del fitoplancton, suggerisce che è importante trovare sistemi per mantenere un buon flusso d'acque e di ossigenazione, come ad esempio l'apertura di nuovi sbocchi verso il Mediterraneo. Proposta messa in atto di recente con l'apertura del nuovo canale.

(*Holothuroidea*) sono praticamente scomparsi e rimangono invece gli spazzini *Ophiuroids*.

Per quanto riguarda la componente vegetale, la *Caulerpa Prolifera* e la *Cymodocea Nodosa* che popolano l'area centrale, appaiono sparse, impoverite e coperto da *Epibionti*¹¹, quest'ultimi segno dell'aumento della sostanza organica presente in acqua. Da un punto di vista macroscopico anche i fondali sono cambiati: nel 1983 apparivano chiari e verdi, mentre nel 1996 lasciano il posto ad un grigio uniforme.

Anni 2000

In questi anni sono nati progetti a carattere nazionale ed internazionale, con l'obiettivo di delineare le differenze e somiglianze tra varie aree del Nord Africa e del Marocco, a seguito di finanziamenti provenienti soprattutto dall'Unione Europea. Perciò anche la macrofauna è diventata oggetto di studio, per parametrare le condizioni ambientali della laguna di Nador.

Il progetto MedWestCoast (Dakki et al., 2003) ha come obiettivo delineare le peculiarità di alcune aree costiere del Marocco. Da un punto di vista della fauna bentonica, si specifica che la laguna di Nador ha in seno alcune specie rare di Bivalvi: *Venus Gallina* e *Venus Verrucosa* e *Ostrea edulis*; queste non sono specie endemica ma introdotte dall'uomo a seguito dell'attività di allevamento dei molluschi.

Un altro studio molto interessante invece è stato fatto per determinare le specie di bivalvi marini che vivono lungo le coste del Mediterraneo in alcune località del Nord Africa (Saida in Algeria e Cap del'Eau, barriera costiera della laguna di Nador e Al Holoceima in Marocco). Il campionamento è effettuato stagionalmente, nell'arco di 3 anni, al fine di evitare problematiche legate all'assenza stagionale di alcune specie, che scompaiono per ragione di crescita o riproduzione (El Bekkaie e Melhaoui, 2007).

Da questo studio emerge che nelle coste mediterranee dell'area della barriera, da Kariat verso Beni Ensar, le specie più abbondanti sono le *Glycimeridae*, seguite a distanza da *Donacidae* e *Cardidae* e *Veneridae*; in quest'area non è presente *Ostreyda* (Fig.127).

Sempre qui troviamo due specie molto rare come la *Lithophaga lithophaga* (datteri di mare) e la *Pina Nobilis*: quest'ultima è una specie che raggiunge oltre 1m di grandezza. Vive sul fondo fango-sabbioso tra le Posidonie, e rimane in posizione verticale, aggrappata al fondo grazie al bisso. Purtroppo l'arretramento delle Posidonie, la pesca e la raccolta per la rivendita ai collezionisti sta facendo diminuire il numero di esemplari. Gli stessi autori proporranno a distanza di alcuni anni uno studio simile (El Bekkaie e

¹¹ Alghe che vivono sulla superficie delle piante e anche degli animali.

Melhaoui, 2011), nel quale viene mantenuta la stessa metodica. Facendo un confronto con le altre aree della costa mediterranea marocchina emerge che le *Spondilydae* sono specifiche della zona di Nador.

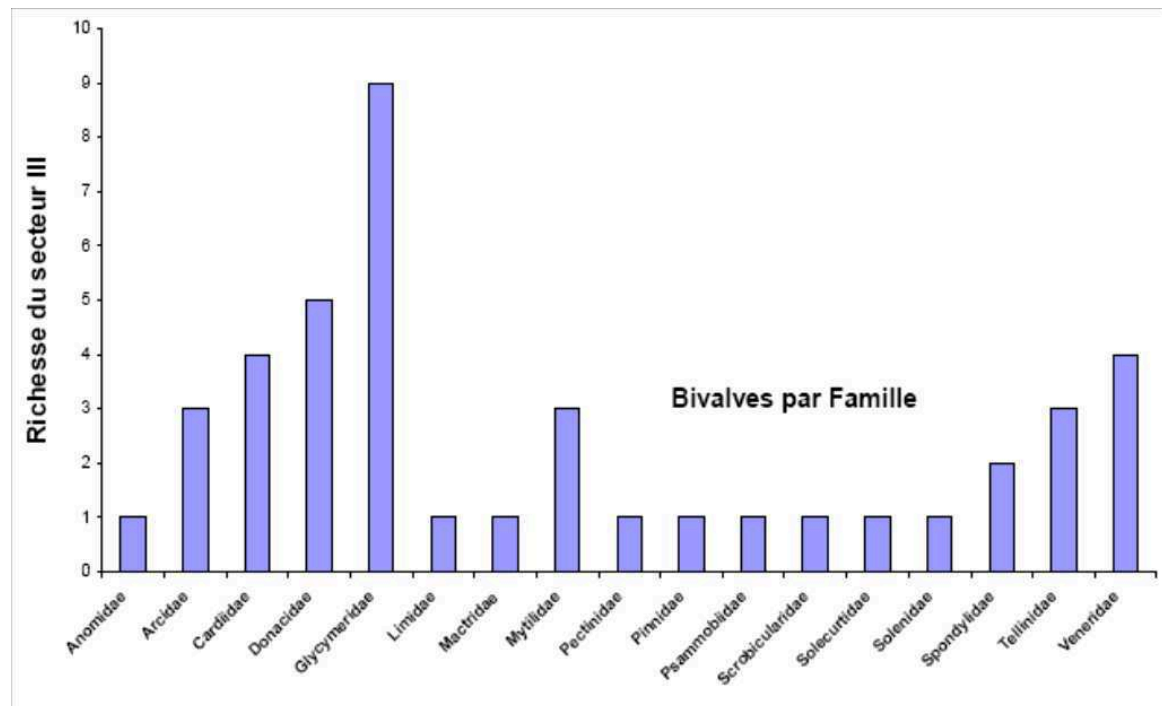


Figura 128 La distribuzione delle famiglie di Bivalvi lungo la costa Mediterranea da Kariat Arkmane fino a Beni Ensar (da El Bekkaie e Melhaoui, 2007)

Ritornando nel bacino lagunare, l'ultima indagine che riguarda la popolazione bentonica della laguna è legata al progetto MELMARINA (Flower et al., 2009), un progetto internazionale, finanziato dall'UE, volto a delineare il livello di degrado delle aree costiere del Nord Africa. Tra le aree prescelte figura anche la laguna di Nador. Non vi è uno studio di tipo ecologico, ma di tipo sedimentario. Poiché tutti i carotaggi effettuati mostrano una grande abbondanza di frammenti conchigliari di molluschi e resti foraminiferi, gli autori hanno definito qualità e abbondanze delle specie a varie profondità.

La laguna di Nador presenta sedimenti ricchi di frammenti e conchiglie intere, in particolare Bivalvi e Gasteropodi. Attorno ai 4cm di profondità le conchiglie si presentano rotte e frammentate, ma più in profondità, specialmente tra 8-9 cm, le conchiglie dei Bivalvi risultano integre e articolate. A 9 e 16 cm di profondità *Musculus Discors* è il più abbondante; tra 4 e 9 cm la *Corbula Gibba* mentre la *Cerastoderma Glaucum* ha due picchi tra i 3-4cm e gli 11-12cm (Fig. 128)

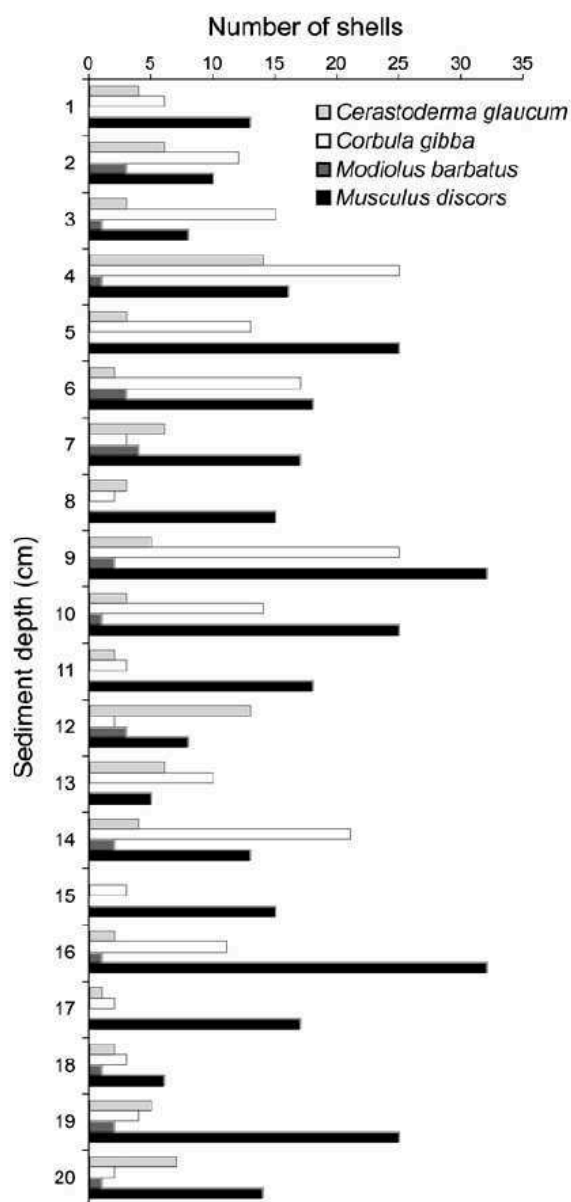


Figura 129 Presenza dei Bivalvi lungo il profilo sedimentario, vengono prese in esame le quattro specie maggiormente presenti. (Flower et al.,2009)

Per concludere possiamo riassumere che:

- All'interno della laguna vi è una forte zonizzazione degli habitat dei Bivalvi e dei Gasteropodi;
- Nel corso degli ultimi decenni la variazione di alcuni parametri fisici (salinità, temperatura, ossigeno disciolto nell'acqua) ha causato la scomparsa o lo spostamento di alcune specie animali e vegetali; il grande volume d'acqua della laguna ha comunque mitigato il fenomeno

- I Bivalvi più numerosi sono *Corbula Gibba*, *Cerastoderma Glaucum*, *Musculus Discors* e *Modiolus Barbatus*;
- I Gasteropodi più numerosi sono *Tricolia Pullus* e *Bittium Reticulatum*;
- Nella laguna sono state introdotte anche specie non endemiche, come l'*Ostrea edulis*, a seguito dell'introduzione dell'industria dell'acquicoltura
- Nonostante i grandi progetti in cui la laguna di Nador è stata inserita, risultando una delle aree maggiormente monitorate, la documentazione scientifica sulla situazione della popolazione endemica dei Molluschi rimane insufficiente.

6.1 I frammenti conchigliari della laguna di Nador

La qualità di una laguna la si può delineare prendendo in esame vari parametri. Fino ad ora si è fatta un'accurata analisi del comparto sedimentario, con alcune puntualizzazioni che riguardano vari aspetti fisico-chimici delle acque, come il pH e la salinità, sino ad una descrizione delle correnti interne e della situazione microclimatica. Molti indici utilizzati per classificare e definire lo stato qualitativo lagunare fanno però riferimento anche alla tassonomia, in particolare prendendo in esame la quantità e la varietà di specie vegetali e animali presenti nella laguna (Arima et al., 2013). Si tratta di studi ecologici, fatti con criteri di campionamento standardizzati e sul comparto vivente della popolazione faunistica e vegetale.

Fatte tali premesse, si ritiene comunque interessante fare un'indagine conoscitiva e di tipo speditivo sui frammenti conchigliari rinvenuti nel campionamento del 2013.

Facendo riferimento ai molluschi, in letteratura e a livello legislativo (vedi appendice III), la prassi prevede lo studio dell'accumulo di metalli pesanti nei tessuti molli. Tuttavia, per altri autori, l'utilizzo di conchiglie e bisso è un importante indicatore "sentinella" di un'avventuale inquinamento in atto nel settore marino. Nel mollusco la conchiglia tende ad essere maggiormente contaminata rispetto ai tessuti molli e, la stessa, mostra livelli differenti di accumulo rispetto allo strato preso in considerazione, per cui il periostraco, più esterno, è lo strato che mostra una concentrazione maggiore in metalli pesanti: i meccanismi che mette in atto l'animale per mantenere l'inquinamento lontano dai tessuti molli non è ancora del tutto conosciuto (Zuykov et al., 2013).

I vantaggi maggiori nell'utilizzare anche le conchiglie per lo studio del bioaccumulo nei molluschi sono essenzialmente due:

- Le conchiglie fossili, presenti in musei e centri di ricerca, possono essere utilizzate come background di riferimento;
- Gli strati molli, dopo 6 mesi in metanolo, tendono a modificare i rapporti di concentrazioni in metallo pesante rispetto all'animale appena pescato: questa modificazione non avviene nei gusci (Seng & Sun, 2001).

Pertanto si è deciso che fosse interessante utilizzare i frammenti per un'analisi generale sul bioaccumulo dei metalli pesanti nei frammenti conchigliari.

Un'ultima osservazione va posta sulla metodologia di campionamento: nella trattazione che seguirà si farà riferimento solo a campioni di molluschi morti e raccolti assieme al sedimento. Pertanto la localizzazione non è direttamente correlata al luogo di vita dell'animale, poiché i resti della conchiglia dell'animale possono essere stati trasportati POST MORTEM da un'altra zona della laguna sino ad arenarsi nel luogo di raccolta.

Nonostante ciò, alcuni autori sostengono che anche lo studio delle conchiglie provenienti da animali morti possano essere un modo economico e iniziale per valutare lo stato qualitativo e il livello di bioaccumulo (Brown et al, 2005).

Per prima cosa si sono individuati i vari ordini dei molluschi, con riferimento ai gasteropodi e Bivalvi. La localizzazione degli stessi viene proposta in cartina (Fig.129) in base alle aree di raccolta.

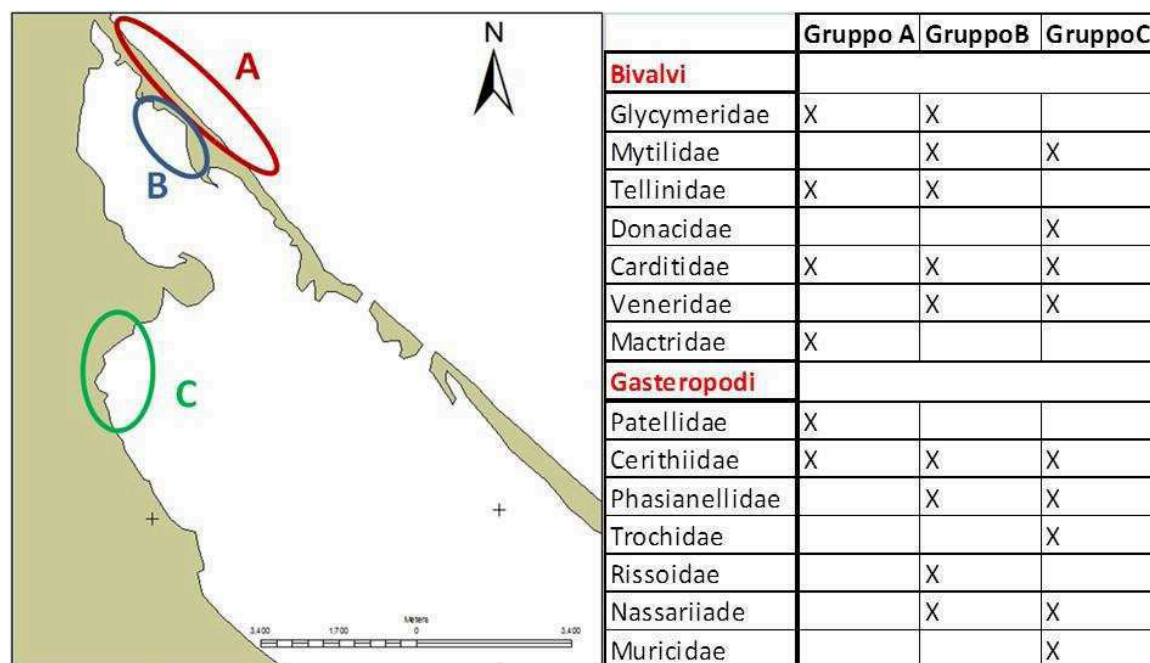


Figura 130 Localizzazione delle aree di prelievo e, a destra, Tabella riassuntiva degli Ordini di Gasteropodi e Bivalvi riconosciuti.

Poiché la maggioranza dei campioni sono di piccole dimensioni e la classificazione per specie è molto complessa, si è preferito definire il genere di appartenenza.

Nella maggioranza dei casi i bivalvi sono di maggiore dimensione nei gruppi A e B, mentre il gruppo C tende ad essere più ricco in piccoli gasteropodi quali del genere *Cerithiidae* e *Trochidae*.



Figura 131 Spiaggia nei pressi di Beni Ensar.

Area di campionamento
Gruppo A:

Si tratta della spiaggia nei
pressi di Beni Ensar.

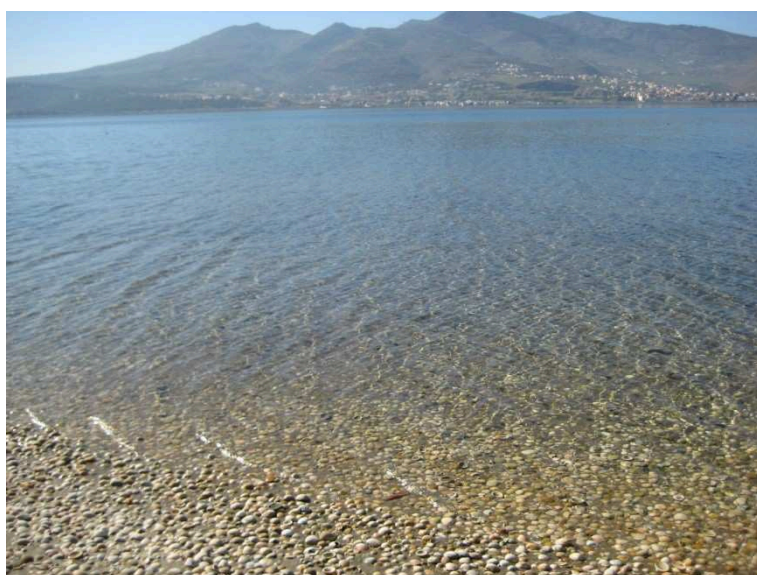


Figura 132 Laguna di Nador dal cordone litorale.

Area di Campionamento
Gruppo B:

Lungo la costa interna del
cordone litorale, in Fig
132 si può vedere in
lontananza il Gourogou.



Figura 133 Spiaggia nei pressi di Nador.

Area di Campionamento
Gruppo C:

lungo la costa tra Nador e
il Promontorio
dell'Attaloyoum:

In Fig. 133 si può vedere
in lontananza il
Promontorio
dell'Attaloyoum.



Figura 134 Particolare campione N001.

Campione N001

Pochi frammenti ma di
grandi dimensioni.

La conchiglia più grande
e dai colori dorati
appartiene alle
Patellidae.



Figura 135 Particolare Campione N003.

Campione N003

Tanti frammenti che
sembrano appartenere in
particolare al genere
Glycymeridae e
Tellinidae.

Campione N004

Tanti frammenti e piccoli esemplari del genere *Mactridae*.



Figura 136 Particolare Campione N004.

Campione N005

Le conchiglie di questo gruppo hanno conchiglie appartenenti a generi del Gruppo B, ma a differenza delle altre aree di prelievo mostrano uno stato di degrado maggiore: si suppone che questi frammenti appartengano a periodi meno recenti, poiché l'area di raccolta è influenzata da una massiva azione erosiva che aggredisce gli strati superficiali portando alla luce layer più antichi.



Figura 137 Particolare Campione N005.



Figura 138 Particolare Campione N006.

Campione N006

Sono gli esemplari più grandi di Bivalvi raccolti, con diametri attorno ai 3 cm. In molti casi si può supporre che la morte di questi esemplari sia avvenuta in seguito ad azione predatoria da parte di altri molluschi, a causa del foro che si nota facilmente sui gusci

Campione N006



Figura 139 Particolare Campione N006.

Dettaglio sui frammenti, che hanno le stesse caratteristiche di deterioramento del campione N005.



Figura 140 Particolare Campione N007.

Campione N007

Dettaglio al microscopio di esemplare appartenente al genere Phasianellidae. In questo settore si sono raccolti molti esemplari appartenenti a questo genere.

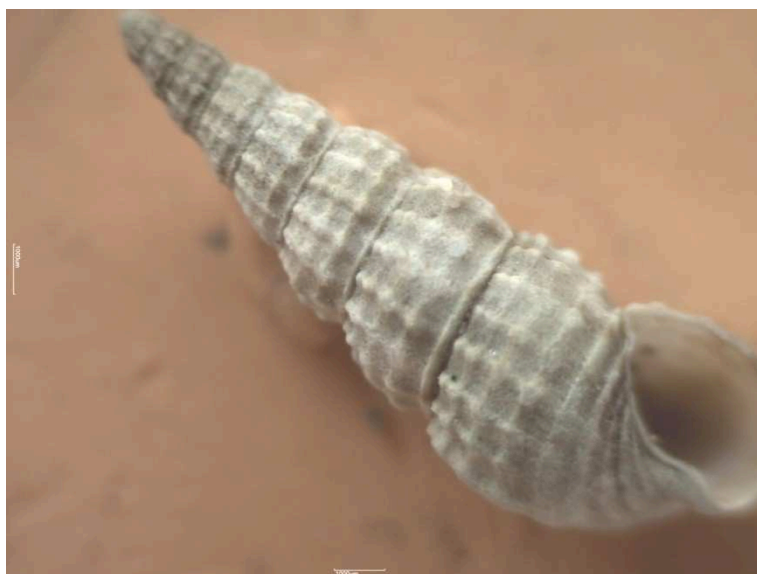


Figura 141 Particolare Campione N009.

Campione N009

Dettaglio al microscopio
di esemplare
appartenente al genere
Cerithiidae.

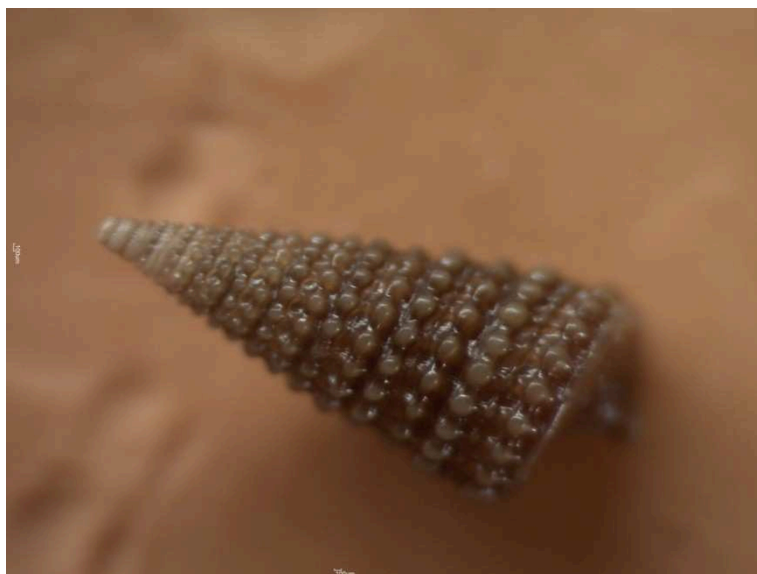


Figura 142 Particolare Campione N012.

Campione N012

Dettaglio al microscopio
di esemplare
appartenente al genere
Trochidae



Campiono N002

Dettaglio al microscopio di esemplare appartenente al Phylum degli Echinodermata: tale campione è in linea con la natura marina dell'area di prelievo del gruppo A.

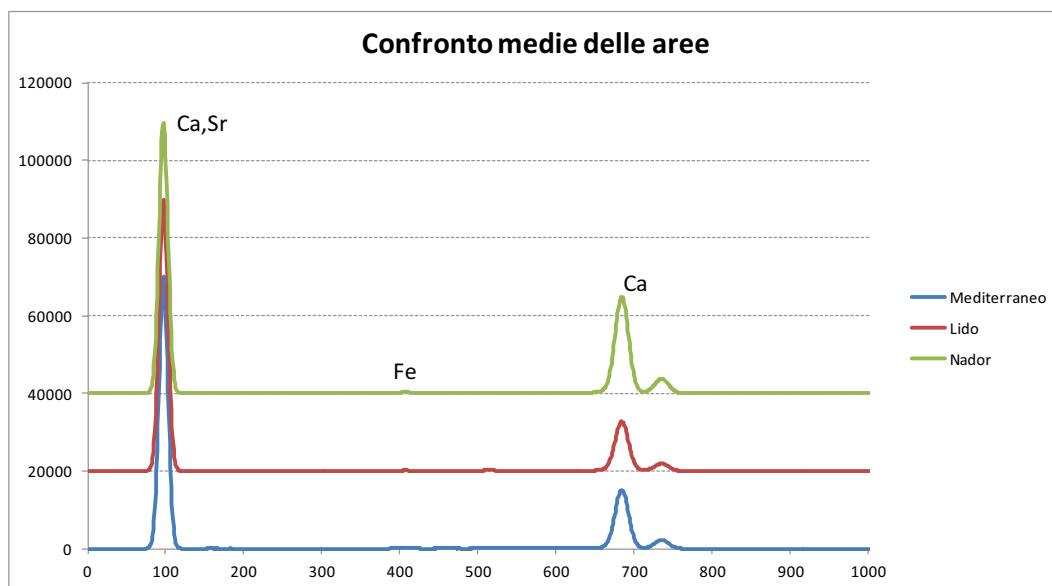
Figura 143 Particolare Campione N002.

I generi riconosciuti e le aree di raccolta sono in linea con quanto descritto da studi passati in particolare da Saubade (1976).

I campioni del Gruppo B presentano una colorazione che va dal verde al bluastro: si pensa che questa cromia sia il risultato di una lunga esposizione dei gusci alle alghe, in particolare quelle che si accumulano e depositano lungo le coste e quelle che utilizzano il substrato calcareo delle conchiglie per crescere (Nielsen, 1987).

Dopo l'identificazione dei generi, le conchiglie sono state pulite con uno spazzolino e acqua distillata MilliQ, al fine di eliminare sporcizie e frammenti esterni lungo la superficie. I campioni così preparati sono stati selezionati e analizzati mediante spettrometria μ -XRF.

L'analisi di tipo puntuale è stata effettuata sugli strati più esterni della conchiglia.



Da ciò che si può vedere dal confronto di tutti i diffrattogrammi, i campioni non mostrano alcun tipo di accumulo da metalli pesanti, ad eccezione di un piccolo picco del Fe nei campioni del Gruppo C215.

Tali dati mettono in luce come i gusci prelevati nella campionatura non mostrino segni preoccupanti di inquinamento, nonostante i valori rilevati nei sedimenti.

7. Conclusioni

Al momento l'Unione Europea sta mettendo in atto numerose politiche per la pianificazione del territorio, tra cui strumenti di tutela e salvaguardia del territorio, con l'obiettivo non solo di migliorare la qualità delle risorse naturali (agricoltura, pesca e disponibilità di risorse idriche), ma anche attraverso esse di offrire maggiori opportunità per una più corretto e sostenibile turismo; nel potenziamento di questo settore vi sono notevoli aspettative di incremento occupazionale, con la creazione di nuove imprese e di reti tra operatori pubblici e privati.

Fra le aree fragili di maggiore interesse ricadono le aree di laguna: vi è l'esigenza di tutela della natura e della biodiversità, attraverso l'istituzione di parchi e aree marine protette, ma anche la possibilità di recuperare attività economiche come la pesca, che spesso in queste aree è attualmente compromesse a causa dell'impatto antropico.

In questo senso il progetto più importante dell'Unione Europea è la rete Natura2000 (www.natura2000.eu), la quale classifica e raccoglie tutti i dati ecologici riguardanti numerose aree naturali, comprese quelle lagunari, oltre al finanziamento di numerosi progetti che vedono proprio le lagune come protagoniste delle azioni. Tale sostegni sono preclusi ad altre aree del mondo, come ad esempio le lagune della costa africana

La tesi si è focalizzata nell'analisi delle problematiche ambientali della laguna di Nador che è la più importante area lagunare del Nord Africa. Questa laguna ha una elevata antropizzazione, e molte attività economiche hanno visibilmente modificato il territorio: le miniere di ferro nell'area del Gourogou e il complesso industriale di Nador; l'agricoltura intensiva nella piana del Bou Areg; l'attività ittica con la piscicoltura in varie zone interne della laguna e la pesca di tipo tradizionale; ma soprattutto l'aumento demografico con la costruzione di città sempre più estese e sempre più impattanti lungo le sponde (Bloundi et al., 2008). In passato la laguna è stata oggetto di numerose ricerche sulla qualità delle acque (Abhouala et al., 1995), a causa dell'aumento della fioritura algale e dell'eutrofizzazione, con i problemi sanitari ed ambientali ad esse connessi. La tesi oltre a fornire un quadro conoscitivo sulle sorgenti naturali ed antropiche responsabili dell'inquinamento da metalli pesanti, offre un'analisi sulle ricadute di interventi di riqualificazione effettuati per contrastare i ricorrenti fenomeni di eutrofizzazione che caratterizzano la laguna, a causa dell'elevata concentrazione di nutrienti immessi nella stessa: infatti, nonostante le difficoltà politiche e sociali, dovute ad una limitatezza delle

risorse economiche e delle competenze pubbliche, molti sono stati gli interventi, anche se non sempre sono stati in linea con pratiche di conservazione ambientale. Il miglioramento del ricambio idrico con il Mediterraneo è avvenuto grazie all'apertura di un nuovo canale nel 2012 (www.marchicamed.com), è senz'altro un passo avanti per una migliore ossigenazione della laguna, anche se una struttura di tale impatto potrebbe avere in futuro altre conseguenze (mutamento delle condizioni micro ambientali tali da favorire o meno la presenza di specie animali e vegetali autoctone, cambiamento nella distribuzione del sedimento). Un altro importante progresso è l'avanzamento tecnologico industriale che ha permesso a molte aziende di dotarsi di depuratori per i propri reflui, anche se risulta ancora insufficiente la dotazione in ambito urbano, tanto che solo la città di Nador è fornita di un sistema fognario e di un acquedotto cittadino, mentre il resto delle abitazioni gettano direttamente in laguna i propri reflui di scarto.

Viste tali premesse, le indagini sono state svolte per comprendere qual è la condizione attuale del sedimento terrigeno della laguna, per accertare se vi sia una forte contaminazione da metalli pesanti o se i sedimenti siano coerenti con un contesto ambientale stabile e esente da inquinamento. Si ricorda che l'area è di grande interesse per i mercati ittici internazionali, compresi quelli europei ed italiani (Abouhala et al., 1999), pertanto la conoscenza dello stato qualitativo ambientale è importante per comprendere se il prodotto ittico proveniente da quelle zone possa avere problemi di contaminazione. Inoltre l'utilizzo delle indagini geochimiche ha anche dato alcune risposte sulla mobilità del sedimento, indicando come alcune dinamiche interne siano mutate negli ultimi decenni (erosione e accumulo).

Il campionamento, realizzato in due momenti diversi (estate 2010 e inverno 2013), è stato effettuato sia in aree interne della laguna che lungo le rive, con un maggior numero di campioni nella zona settentrionale. Il limite del campionamento è stata la quantità prelevata, ma nonostante ciò si è riuscito a portare a termine un numero importante di indagini. Inoltre, il campionamento del 2013 ha fornito un cospicuo numero di conchiglie, le quali hanno permesso di realizzare un'indagine preliminare sullo stato qualitativo di una parte della malacofauna.

Le indagini effettuate sui sedimenti della laguna di Nador mostrano come gli elevati tenori dei metalli pesanti, nonostante la presenza di fonti di inquinamento antropiche, siano dovuti, in maniera predominante, alle rocce basiche che caratterizzano il promontorio del Gourogou a Nord, da cui si originano i sedimenti dell'area settentrionale.

Grazie alla geochimica si è potuto constatare che i campioni N005 ed N006, provenienti da un vecchio delta tidale nel settore settentrionale della barriera costiera, appartengono ad un settore della laguna che attualmente è caratterizzato da una forte erosione: questi campioni infatti esprimono differenze geochimiche rispetto ai campioni della stessa area, riferibili a stratigrafie più antiche venute alla luce grazie ai processi erosivi.

Inoltre la presenza di minerali femici, come Olivine e Clino Pirosseno, nonostante siano stati recuperati in quantità limitate, riescono a descrivere una dinamica di deposizione molto veloce, in linea con le problematiche riscontrate nel Gourogou; le pendici del vulcano sono caratterizzate da un degrado ambientale dovuto all'abbattimento e al ritiro della vegetazione. Le sponde del Gourogou attualmente sono povere di vegetazione e ad ogni evento meteorico, per azione del ruscellamento delle acque, il sedimento scorre velocemente e giunge direttamente in laguna: per tale motivo si sono ritrovati minerali normalmente poco stabili e sedimenti grossolani.

Il confronto tra i vari dati (mineralogici, geochimici, granulometrici) hanno confermato una peculiarità della laguna di Nador, ovvero che l'area risulta fortemente zonizzata, a causa di tre componenti fondamentali: la morfologia della laguna, la geologia dell'area di provenienza dei sedimenti, la scarsa mobilità interna del sedimento. Tale zonizzazione si riscontra non solo a livello geochimico e sedimentologico ma anche come distribuzione della flora e della fauna all'interno della laguna, con alcune specie che abitano solo in una piccola area della laguna (come le colonie di Cianobatteri che vivono prevalentemente lungo il settore meridionale della barriera costiera). Tali premesse dimostrano come sia necessario fare un'indagine lungo tutta l'area lagunare per comprendere l'effettivo stato qualitativo e non ci si possa accontentare dell'analisi di un solo punto, come è avvenuto in alcune ricerche (Flower et al., 2009).

Grazie allo studio dei dati, con l'aiuto di mappe tematiche create mediante il software GIS, sono state individuate tre macro aree dal punto di vista mineralogico e sedimentario (sedimento marino, continentale e intra lagunare), mentre la geochimica ha messo in luce ulteriori micro differenze e le aree delineate sono sette. In entrambi i casi è evidente come il Massiccio del Gourogou influenzi fortemente le caratteristiche geochimiche, mineralogiche e granulometriche dei sedimenti prossimi alle sue pendici.

Una volta caratterizzati i sedimenti si è indagato sulle caratteristiche qualitative rispetto ai parametri legislativi: per motivi di facilità ci si è riferiti ai quadri normativi italiani, che fanno capo alle linee guida della Comunità Europea, nella fattispecie il Dlgs 219/10 e il

D.M. Ambiente 56/2009. Per gli elementi da prendere in considerazione ci si è soffermati su Cr, Cu, Ni, Pb, V e Zn, in quanto sono gli elementi più studiati e per i quali esistono limiti di legge chiari. Da questo primo studio si è valutato come i campioni non abbiano problemi di contaminazione da Cu, solo in due casi da Cr e Zn, e in maniera diffusa da Ni, Pb e V. In generale i campioni più vicini al Massiccio del Gourogou risultano quelli con tenori maggiori in metalli pesanti.

Il confronto più importante è stato quello tra i dati geochimici degli elementi maggiori della Sacca di Goro (Bertelli & Vaccaro, 2007) e del tratto di spiaggia nei pressi di Tetouan (Nachite et al., 2005): nel primo caso si è scelta un'area lagunare simile, con problemi di antropizzazione, mentre nel secondo caso si è preferita una zona vicina all'area di studio ma con caratteristiche morfologiche differenti e presumibilmente con minori contaminazioni da metalli pesanti. In entrambi i casi le analisi sono state eseguite nei laboratori del Dipartimento Di Fisica e Scienze Della Terra, perciò le caratteristiche sperimentali sono decisamente confrontabili.

In generale i campioni sono raggruppabili in due grandi gruppi: (1) quelli di Tetouan e dei campioni di Nador con influenza del sedimento marino; (2) i campioni della Sacca di Goro e quelli della laguna di Nador con influenza del sedimento continentale e dell'area intra lagunare. Il primo gruppo è caratterizzato da valori di SiO_2 tra 30 – 80%, CaO tra 10 – 40%, Al_2O_3 0 – 5% mentre il secondo di SiO_2 tra 30 – 60%, di CaO tra 0 – 20% e Al_2O_3 tra 5 – 20% (vedi Fig. 97, 98): i campioni del primo gruppo sono più ricchi in CaO e meno in Al_2O_3 (granulometria più fine) mentre i secondi sono più ricchi in SiO_2 e Al_2O_3 (granulometria più grossa).

Successivamente i valori di Cr, Cu, Ni, Pb, V e Zn della laguna di Nador sono stati messi a confronto con i dati di altre lagune del mondo, caratterizzate da problemi di impatto antropico (Laguna di Agiasma, Grecia; Laguna di Berre, Francia; Laguna di Szczecin, Polonia; Laguna “dei Cigni”, Bohai Bay, Cina; Sacca di Goro, Italia; Laguna di Venezia, Italia) e del Marocco (Laguna di Moulay Bousselham; Laguna di Sidi Moussa; Laguna di Oualidia): in generale la laguna di Nador risulta in linea con i valori, a volte anche con livelli di metalli pesanti inferiori.

Concluso il confronto diretto tra i dati di Nador e quelli di altre località l'obiettivo era comprendere se i valori di Cr, Cu, Ni, Pb, V e Zn erano dovuti a condizioni ambientali locali o all'effetto dell'antropizzazione. Si è fatta così un'ulteriore analisi statistica delineando il fattore di arricchimento di ogni campione e utilizzando due approcci diversi:

rispetto alla roccia madre e rispetto alla crosta terrestre. Per quanto riguarda la roccia madre il confronto è stato fatto con dati propri dove possibile, mentre in altri casi rispetto a dati esposti in letteratura; mentre per i dati della crosta terrestre ci si è riferiti all'autorevole studio di Wedepohl (1995). Da tale analisi si è potuto osservare come il fattore di arricchimento rispetto ai dati della roccia madre sia da preferire, in particolare per i campioni provenienti dall'area settentrionale, poiché maggiormente soggetti all'influenza della petrografia del Gourogou e molto distanti dai valori medi della crosta. In generale i dati mostrano un basso fattore di arricchimento: ciò significa che i tenori da metalli pesanti nei sedimenti sono dovuti principalmente a fattori ambientali, come la composizione geochemica delle rocce magmatiche del Gourogou, e non da fattori antropici.

L'ultima parte della tesi riguarda le analisi effettuate sulle conchiglie: nonostante il limite di questo approccio, lo studio dell'accumulo sul Periostraco (il layer più esterno del guscio) può dare indicazioni preliminari sul livello di bioaccumulo di Bivalvi e Gasteropodi (Brown et al., 2005). Per tale indagine si è utilizzato il μ XRF, uno strumento di facile utilizzo, puntuale, non invasivo e capace di restituire in tempi brevi uno spettro della composizione elementare della superficie indagata. A seguito dell'indagine non si rileva alcun picco significativo di metalli pesanti ritenuti potenzialmente tossici per l'uomo o l'animale stesso.

Concludendo quindi, si può esprimere un giudizio positivo sulla qualità dei sedimenti attuali della laguna di Nador in cui, nonostante l'influenza della geochemica delle rocce del Gourogou, i parametri non sembrano alterati in maniera massiva da effetti antropici e in generale risultano al di sotto dei limiti di legge, o comunque in linea con i dati di altre lagune confrontabili per livello di pressione antropica. Per quanto riguarda il biomonitoraggio lo studio effettuato in questa tesi è solo indicativo e preliminare, però dai risultati delle analisi non si evince alcun dato preoccupante.

8. Bibliografia

- ABIGAIL A., ATWOOD J., AUGUST P., BYRON C., COBB S., FOSTER C., FRY C., GOLD A., HAGOS K., HEFFNER L., KELLOGG D. Q., LELLIS-DIBBLE K., OPALUCH J. J., OVIATT C., PFEIFFER-HERBERT A., ROHR N., SMITH L., SMYTHE T., SWIFT J. & VINHATEIRO N., *Coastal Lagoons and Climate Change: Ecological and Social Ramifications in the U.S. Atlantic and Gulf Coast Ecosystems*, Ecology and Society, Volume 14, Issue 1, Articolo 8 (2009), pp.1-29.
- ABOUHALA A., *La lagune de Nador: écosystème et ménagement*, Workshop on lagoon management, (1991), pp.201-207.
- ABOUHALAL A., BOUKABOUS R., DAFIR J-E. & TALBAOUP E-M., *Caractérisation physico-chimique de la lagune de Nador*, Actes Inst. Agron. Veto, Volume 15, Numero 4 (1995) 43-52.
- ABOUHALAL A., TALBAOUP E-M. & BOUKABOUS R., *Accès au marché. Le cas du Maroc. Aquaculture planning in Mediterranean countries*. Zaragoza: CIHEAM, Cahiers Options Méditerranéennes, Numero 43, (1999), p. 61-62.
- ACHAB M., EL ARRIM A., EL MOUMNI B. EL & HATIMI I., *Metallic pollution affecting the Bay of Tangier and its continental emissaries: anthropic impact*. Thalassas, Volume 23, Numero 2, (2007), pp. 23-36.
- ADAMS W.J., KIMERLE R.A. & BARNETT J.W., *Sediment Quality and Acquatic Life Assessment*, Environmental Science Technology Volume 26, Numero 10, (1992), pp.1865-1875.
- ADRIANO D.C., WENZEL W. W. & LOMBI E., *Origine, comportamento e rischio potenziale degli elementi in trace negli ecosistemi agrari*, in CAPRI E., BOCCELLI R., LOFFI S., LOMBI E. (a cura di), *Impatto ambientale di Metalli Pesanti ed Elementi in Traccia* Bologna (1999), pp. 9- 24.
- AGUILA E., GONZALEZ I., GALÀN E., HAMOUMI N., LABRAIMI M. and BLOUNDI M.K., *Distribucion de elementos traza en los sedimentos de la laguna de Nador (Marruecos). Estudio preliminar*. Geotemas, Volume 6, Numero 1, (2004), pp. 195–198.
- AKOGBETO M., *Entomological study on the malaria transmission in coastal and lagoon areas: the case of a village built on a brackish lake*, Annales de la Societe Belge de Medecine Tropicale, Volume 75, Numero 3, (1995), pp. 219-227.

- ALLEN BURTON G., *Sediment quality criteria in use around the world*, Review Article, Limnology , Volume 3, (2002), pp.65–75.
- ALLOWAY B. J., *Chapter 1 – Introduction*, in Trace metals and metalloids in Soils and their Bioavailability, Collana Environmental Pollution, Volume 22, (2013), pp. 3-10.
- ALLSOPP M., JOHNSTON P. & SANTILLO D., *Challenging the Aquaculture Industry on Sustainability: Technical Overview*, Greenpeace Research Laboratories Technical Note, (2008).
- ALLSOPP M., WALTERS A., SANTILLO D. & JOHNSTON P., *Plastic Debris in the World's Oceans*, Greenpeace Research Laboratories Technical, (2006).
- AMAP, 2002. Arctic Pollution 2002. Arctic Monitoring and Assessment Programme, Oslo 2002.
- AMINI T., KHATTABI A., EZZAHIRI M. & ZIN E EL ABIDINE A. *Cartographie des groupements végétaux des sites : lagune de Nador, commune de Beni Chiker et commune de Boudinar*, Projet ACCMA Ecole Nationale Forestière d'Ingénieurs, Salé BP. 511 Tabrikt SALE, MAROC (2008) pp 1-52.
- ANAHNAH F., GALINDO-ZALDÍVAR J., AZZOUZ O., RUANO P., CHALOUAN A., PEDRERA A., RUIZ-CONSTAN A. & BOUREGBA N., *The Nador dipole: one of the main magnetic anomalies of the NE Rif*, Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo, Volume 29, (2009), pp. 84-89.
- ANGIOLINI C., NUCCI A., LANDI M. & BACCHETTA G., *Distribution of endemic and alien plants along Mediterranean rivers: A useful tool to identify areas in need of protection*, C. R. Biologies, Volume 336, (2013), pp. 416–423.
- ARIENZO M., MASUCCIO A. & FERRARA L., Evaluation of Sediment Contamination by Heavy Metals, Organochlorinated Pesticides, and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Berre Coastal Lagoon (Southeast France), Arch Environ Contam Toxicol, Volume 65, (2013), pp. 396–406.
- ARIMAA S., BASSET A., JONA LASINIO G., POLLICE A. & ROSATI I., *A hierarchical Bayesian model for the ecological status classification of lagoons*, Ecological Modelling, Volume 263, (2013), pp. 187– 195.
- ATALAR M., KUCUKSEZGIN F., DUMAN M. & GONUL L. T., Heavy Metal Concentrations in Surficial and Core Sediments from Izmir Bay: An Assessment of Contamination and Comparison Against Sediment Quality Benchmarks, Bull Environ Contam Toxicol, Volume 91, (2013), pp. 69–75.
- BAILEY G., *World Prehistory from the Margins: The Role of Coastlines in Human Evolution*, Journal of Interdisciplinary Studies in History and Archaeology, Volume 1 , Numero 1, (2004), pp. 39-50.

- BELLUCCI L. G., EL MOUMNI B., COLLAVINI F., FRIGNANI M., & ALBERTAZZI S., *Heavy metals in Morocco Lagoon and river sediments*, J. Phys. IV France, Volume 107, (2003), pp 139-142.
- BELLUCCI L. G., FRIGNANI M., PAOLUCCI D. & RAVANELLI M., Distribution of heavy metals in sediments of the Venice Lagoon: the role of the industrial area, *The Science of the Total Environment*, Volume 295, (2002), pp. 35–49.
- BENKHALDOUN F., DAOUDI S., ELMAHI I. & SEID M., *Numerical modelling of sediment transport in the Nador lagoon (Morocco)*, *Applied Numerical Mathematics* Volume 62, (2012), pp. 1749–1766.
- BERTELLI L., *Valutazione dello stato ambientale dei sedimenti della Sacca di Goro attraverso l'analisi di dati geochimici attuali e pregressi*, in *Caratterizzazione granulometrica, geochimica e microbiologica dei sedimenti della Sacca di Goro*, (2007), pp.11 – 41.
- BERTELLI L. & VACCARO C., *Caratterizzazione geochimica e granulometrica dei sedimenti della Sacca di Goro (Delta del Po)*, in *Caratterizzazione granulometrica, geochimica e microbiologica dei sedimenti della Sacca di Goro*, (2007), pp.44 – 63.
- BETTIOL C., TAGLIAPIETRA D., FRANGIPANE G., VOLPI GHIRARDINI A., GHETTI P.F., COLOMBAN S. & ARGESE E., *Bioaccumulo di metalli in organismi della laguna di Venezia*, in R. Casagrandi & P. Melià, *SlE Atti XXVII - Atti del XIII Congresso Nazionale della Società Italiana di Ecologia*, Roma, Aracne, Convegno: XIII Congresso S.It.E., Como, (8-10 Settembre 2003).
- BIRD E. C. F., *Physical setting and geomorphology of coastal lagoons*. In *Coastal lagoon processes*, (1994), pp. 9 – 39.
- BLOUNDI M. K., DUPLAY J. & QUARANTA G., *Heavy metal contamination of coastal lagoon sediments by anthropogenic activities: the case of Nador (East Morocco)*, *Environ Geol*, Volume 56, (2009), pp 833–843.
- BLOUNDI M. K., *Etude géochimique de la lagune de Nador (Maroc oriental) : Impacts des facteurs anthropiques*, Tesi di dottorato (2005).
- BLOUNDI M. K., FAURE P. & DUPLAY J., *Organic contamination identification in sediments from a Mediterranean coastal ecosystem: The case of the Nador lagoon (Eastern Morocco)*, *Comptes Rendus Geoscience*, Volume 340, (2008), pp 840–849.
- BROWN, M.E., KOWALEWSKI, M., NEVES, R.J., CHERRY, D.S. & SCHREIBER, M.E., *Freshwater mussel shells as environmental chronicles: geochemical and taphonomic signatures of mercury-related extirpations in the North Fork Holston River Virginia*, *Environ. Sci. Technol.* Volume 39, (2005), pp. 1455–1462.
- BRUZZI L., *Prevenzione e controllo dell'impatto ambientale – Criteri e metodi; Tecnologie e processi – Procedure e normative*, Bologna, edizioni CLUEB, (1995).

- BURTON N. H. K., REHFISCH M. M., CLARK N. A. & DODD S. G., *Impacts of sudden winter habitat loss on the body condition and survival of redshank Tringa tetanus*, Journal of Applied Ecology, Volume 43, (2006), pp. 464–473.
- CALACE N. & GUERRA M., Proposta per la valutazione dello stato qualitativo dei sedimenti fluviali nel sito di interesse nazionale Fiumi Saline ed Alento, ISPRA (2009), pp.1-23.
- CAMORANI G., CASTELLARIN A. & BRATH A., *Effects of land-use changes on the hydrologic response of reclamation systems*, Physics and Chemistry of the Earth, Volume 30, (2005), pp. 561–574.
- CAPROTTI F., *Internal colonisation, hegemony and coercion: Investigating migration to Southern Lazio, Italy, in the 1930s*, Geoforum, Volume 39, Issue 2, (2008), pp. 942-957.
- CATTANEO P., *Food in - Collezione di studi sull'ispezione degli alimenti di origine animale*, Dipartimento di Scienze e Tecnologie Veterinarie per la Sicurezza Alimentare, Università degli Studi di Milano (a cura di), ISSN: 2039-1544, Volume 1, (2010).
- CHRISTOPHORIDIS A., STAMATIS N. & ORFANIDIS S., *Sediment heavy metals of a Mediterranean coastal lagoon: Agiasma, Nestos Delta, Eastern Macedonia (Greece)*, TWB, Transit. Waters Bull. , Volume 4, (2007), pp.33-43.
- COHEN M.A., *Water Pollution from Oil Spills*, Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences, from Encyclopedia of Energy, Natural Resource, and Environmental Economics, Volume 3, (2013), pp. 121-126.
- COMMISSION EUROPEENNE -Direction Général Santé et Protection des Consommateurs (a cura di), *Rapport final concernant une Mission au Maroc du mai 28 au 9 Juin 2001*, (2011) pp. 1-40.
- D'ANGELO G. & GARGIULLO S., *Guida alle conchiglie mediterranee: conoscerle cercarle collezionarle*, Fabbri editore Milano, (1978).
- DAKKI M., EL FELLAH B. & FEKHAOUI M., *Diagnostic pour l'Aménagement des Zones humides du Nord-Est du Maroc: 2 Sebkhia Bou Areg (lagune de Nador)*, progetto MedWetCoast, Rapporto finale (2003), pp 1-3.
- DAOUDI M., SERVE L., RHARBI N., EL MADANI F. & VOUVÉ F., *Phytoplankton distribution in the Nador lagoon (Morocco) and possible risks for harmful algal blooms*, TWB, Transit. Waters Bull, Volume 6, Numero 1, (2012), pp. 4-19.
- DI GIUSEPPE D., BIANCHINI G., NATALI C. & BECCALUVA L., *Environmental geochemistry of peat-rich sediments in the Po river Delta area (Mezzano low land*,

- Ferrara), 86esimo Congresso nazionale della Società Geologica Italiana, Arcavacata di Rende CS, Italy; 18-20 settembre 2012. Rendiconti on-line della Società Geologica Italiana, Volume 21, Parte II, p.860.
- DI GIUSEPPE D., *Distribuzione dei metalli pesanti nei suoli agricoli ferraresi: analisi geochimica e cartografica tematica su base G.I.S.*, Tesi di dottorato, Università degli studi di Ferrara, (2010).
- DIRETTIVA 2008/56/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO, Gazzetta ufficiale dell'Unione europea (2008), pp.1-22.
- DUNNET G.M., FURNESS R.W., TASKER M.L. & BECKER P.H., *Seabird ecology in the north sea*, Netherlands Journal of Sea Research, Volume 26, Issues 2–4, November 1990, pp. 387–425.
- DUPLAY J., SEMHI K., BLOUNDI M. K., KHEDHIRI S., BEN AHMED R. & DARRAGI F., *Geochemical background and contamination level assessment in Tunisian and Moroccan Mediterranean coastal lagoon sediments*, Environmental Earth Science, (2012).
- DUURSMA E.K. & MARCHAND M., *Aspects of organic marine pollution*, Oceanography and Marine Biology Annual Review 12, (1974), pp. 315–431.
- EL ALAMI M., MAJHOUBI R., DAMNATI B., KAMEL S., ICOLE M. & TAIEB M., *Sédimentologie et géochimie organique des sédiments superficiels de la lagune de Nador (Maroc nord-oriental)*, Journal of Earth Science, Volume 26, Numero 2, (1998), pp 249-259.
- EL AZZOUZI M., GRIFFITHS J.B., BELLON H., MAURY R.C., PIQUE A., FOURCADE S., COTTEN J. & HERNANDEZ J., *Evolution des sources du volcanisme marocain au cours du Néogène*, C.R. Acad. Sc. Paris, Volume 395, (1999), pp. 95-102.
- EL BAKKALI S., GOURGAUD A., BOURDIER J., BELLON H. & GUNDOGDU N., *Post-collision neogene volcanism of the Eastern Rif (Morocco):magmatic evolution through time*, Lithos, Volume 45,(1998), pp.523–543.
- EL BEKKAYE K. & MELHAOUI M., *Contribution of the knowledge of the malacological of Bivalvis in the Moroccan Mediterranean coast*, J. Mater. Environ. Sci., Volume 2, Numero S1, (2011), pp. 572-575.
- EL MADANI F., CHIAAR A. & CHAFI A., *Phytoplankton composition and abundance assessment in the Nador lagoon (Mediterranean coast of Morocco)*, Acta Bot. Croat., Volume 70, Numero 2, (2011), pp. 269–288. EL RHAZI M. & HAYASHI K., *Mineralogy, Geochemistry, and Age Constraints on the Beni Bou Ifrouf Skarn Type Magnetite Deposit, Northeastern Morocco*, Resource Geology, vol. 52, Numero 1, (2002), pp 25–39.

- EVANS P. R., HERDSON D. M., KNIGHTS P. J. & PIENKOWSKI M. W., Short-term effects of reclamation of part of Seal Sands, Teesmouth, on wintering waders and Shelduck, *Oecologia*, Volume 41, Issue 2, (1979), pp 183-206.
- FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE (FGDC), *Coastal and Marine Ecological Classification Standard*, (June 2012), pp.1-343.
- FLOWER R. J. & THOMPSON J. R., *An overview of integrated hydro-ecological studies in the MELMARINA Project: monitoring and modeling coastal lagoons—making management tools for aquatic resources in North Africa*, *Hydrobiologia* Volume 622, (2009), pp. 3–14.
- FLOWER R. J., APPLEBY P. G., THOMPSON J. R., AHMED M. H. RAMDANI M., CHOUBA L., ROSE N., ROCHESTER R., AYACHE F. KRAIEM M. M., ELKHIATI N., EL KAFRAWY S., YANG H. & RASMUSSEN E. K., *Sediment distribution and accumulation in lagoons of the Southern Mediterranean Region (the MELMARINA Project) with special reference to environmental change and aquatic ecosystems*, *Hydrobiologia*, Volume 622, (2009), pp. 85–112.
- FRIGNANI M., BELLUCCI L., LANGONE L. & MUNTAU H., Metal fluxes to the sediments of the northern Venice Lagoon Original Research Article, *Marine Chemistry*, Volume 58, Issues 3–4, (1997), pp. 275-292.
- GALINDO R., MEDINA J.M. A., VILLAGRANA L.C. & IBARRA C.L., Environmental and pollution condition of the huizache-caimanero lagoon, in the north-west of Mexico Original Research Article *Marine Pollution Bulletin*, Volume 34, Issue 12, (1997), pp. 1072-1077.
- GILLA R.C.O., APARICIOB A., EL AZZOUZIC M., HERNANDEZD J., THIRLWALLA M.F., BOURGOISE J. & MARRINER G.F., *Depleted arc volcanism in the Alboran Sea and shoshonitic volcanism in Morocco: geochemical and isotopic constraints on Neogene tectonic processes*, *Lithos*, Volume 78, (2004), pp. 363– 388.
- GLASBY G.P., SZEFER P., GELDON J. & WARZOGA J., *Heavy-metal pollution of sediments from Szczecin Lagoon and the Gdansk Basin, Poland*, *Science of the Total Environment*, Volume 330, (2004), pp. 249–269.
- GONNELLI C. & RENELLA G., Chapter 11 – Chromium and Nickel, in Trace metals and metalloids in Soils and their Bioavailability, *Collana Environmental Pollution*, Volume 22, (2013), pp.313 – 333.
- GONZÁLEZ I., AGUILÀ E. & GALÀN E., *Partitioning, bioavailability and origin of heavy metals from the Nador Lagoon sediments (Morocco) as a basis for their management*, *Environ Geol*, Volume 52, (2007) pp. 1581–1593.

- GRILLO V. , PARSONS E.C.M. & SHRIMPTON J.H., 2001. *A review of sewage pollution and cetaceans: a Scottish perspective*. Paper presented to the Scientific Committee at the 53rd Meeting of the International Whaling Commission, 3–16 July 2001, London.
- GUELORGET O., PERTHUISOT J.P., FRISONI G. and MONTI D., *Le rôle du confinement dans l'organisation biogéologique de la lagune de Nador (Maroc)*, Oceanologica Acta - Volume 10, Numero 4 (1987) pp. 435-444.
- GUERZONI S., FRIGNANI M., GIORDANI P., & FRASCARI F., *Heavy Metals in Sediments from Different Environments of a Northern Adriatic Sea Area, Italy*, Environ Geol Water Sci, Volume 6, Numero 2, (1984), pp. 111-119.
- HAMOUMI N., CHAFIK M., HAZIM M.A., KHARBAOUI R., TERHZA L., HOURIMECHE A. & LOUAYA A., *Control et evolution des milieux de sedimentation de la lagune de Nador (littoral Mediterranéen Oriental, Maroc)*, Coastal and Maritime Mediterranean Conference, (2011), pp. 177-180.
- HAMOUMI N., *The Nador barrier island system (Morocco): functioning, natural and man-induced controls, scenarios of future evolutions*; Revue Paralia, Volume 5 (2012) pp 515-528.
- HATVANY M.G., *Wetlands and Reclamation*, International Encyclopedia of Human Geography, (2009), pp. 241-246
- HAYES, M.O. "Morphology of sand accumulations in estuaries". In: L.E. Cronin (Ed.), *Estuarine Research, V.2, Geology and Engineering*. New York Academic Press, (1975), pp. 3-22.
- HILMI K., ORBI A., LAKHDAR J.I., IDHALLA M., NAJIH M. & ARID H., *Circulation saisonnière de la Lagune de Nador (Maroc)*, Rapp. Comm. int. Mer Médit., (2007), p.673.
- HUANG L., PU X., PAN J-F. & WANG B., *Heavy metal pollution status in surface sediments of Swan Lake lagoon and Rongcheng Bay in the northern Yellow Sea*, Chemosphere (2013), In press.
- HURLES M.E., MATISOO-SMITH E., GRAY R.D. & PENNY D., *Untangling Oceanic Settlement: the edge of the Knowable*, Ecology and Evolution, Volume 18, Numero 10, (2003); pp.531-543.
- ISLAM S. & TANAKA M., *Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: a review and synthesis*, Marine Pollution Bulletin, Volume 48, (2004), pp. 624–649.

- KJERFVE B., Coastal Lagoons – Chapter 1, da *Coastal Lagoon Processes* edited by B. Kjerfve, Elsevier Oceanography Series, 60, (1994), pp. 1-8.
- KJERFVE B., Comparative Oceanography of Coastal Lagoons, in *Coastal Lagoons* edito da Academic Press. Inc. (1986), pp. 63-81.
- KLIMASARA A. J., *Logical steps in the automated Lachance-Traill XRF Matrix Correction method utilizing an electronic spreadsheet*, Advanced in X-Ray Analysis, JCPDS - International Centre for Diffraction Data 2000, Volume 42, (2000), Pp.53-64.
- LANKFORD, R.R., *Coastal lagoons of Mexico: their origin and classification. Estuarine processes* (Wiley, M. Ed.) Academic Press Inc., volume II, Numero 18, (1977), pp 182-215.
- LEFEBVRE A., GUELORGET O., PERTHUISOT J.P. & DAFIR J.E., *Evolution biogéologique de la lagune de Nador (Maroc) au cours de la période 1982-1993*, Oceanologica Acta- Volume 20, Numero 2 (1996) pp 371-385.
- LLORET J., MARÌN A. & MARÌN -GUIRAO L., *Is coastal lagoon eutrophication likely to be aggravated by global climate change?*, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Volume 78, (2008), pp 403-412.
- LOUAYA A. & HAMOUMI N., Impact des aménagements sur la morphodynamique du complexe lagunaire de Nador, Maroc, Coastal and Maritime Mediterranean Conference, (2011), pp.211-214.
- LUCCI F., *La morfologia cristallina degli Zircon: uno strumento per interpretare l'evoluzione del magma*, Il Cercapietre, Volume 1-2, (2011), pp. 42-51.
- MAANAN M., Etude sedimentologique du remplissage de la lagune de Sidi Moussa (côte Atlantique marocaine) – Caracterisation granulometrique, mineralogique et geochimique; Tesi di dottorato, Università Chouaib Doukkali, (2003).
- MAANAN M., LANDESMAN C., MAANAN M., ZOURARAH B., FATTAL P. & SAHABI M., *Evaluation of the anthropogenic influx of metal and metalloid contaminants into the Moulay Bousselham lagoon, Morocco, using chemometric methods coupled to geographical information systems*, Environ Sci Pollut Res, Volume 20, (2013), pp.4729–4741.
- MAANAN M., ZOURARAH B., CARRUESCO C., AAJJANE A. & NAUD J., *The distribution of heavy metals in the Sidi Moussa lagoon sediments (Atlantic Moroccan Coast)*, Journal of African Earth Sciences, Volume 39, (2004), pp. 473–483.
- MAC DONALD D.D., *Volume 1 - Development and Evaluation of Sediment Quality Assessment Guidelines*, in Florida Department of Environmental Protection Office of

- Water Policy (a cura di), *Approach to the Assessment of Sediment Quality in Florida Coastal Waters*, (1994).
- MADEJÒN P., *Vanadium – Chapter 27*, in Trace metals and metalloid in Soils and their Bioavailability, Collana Environmental Pollution, Volume 22, (2013), pp 579-587.
- MAHJOUBI R., KAMEL S. & EL MOUMNI B., *Nature, Origine et Répartition de la phase argileuse de la Lagune de Nador (Maroc Nord Oriental)*, Geologica Belgica Volume 6, Numero 1-2 (2003), pp. 31-42.
- MALOULI IDRISSE M., ZAHRI Y., HOUSSA R., ABDELAOUI B. & EL OUAMARI N., *Pêche artisanale dans la lagune de Nador: exploitation et aspects socio-economiques*, FAO (a cura di), 2002, pp. 1-81.
- MARTY D., ESNAULT G., CAUMETTE P., RANAIVOSON-RAMBELOARISOA E. & BERTRAND J. C. *Dénitrification, sulfato-réduction et méthanogenèse dans les sédiments superficiels d'un étang saumâtre méditerranéen*; Oceanologica Acta, Volume 13, Numero 2, (1990), p. 199-209.
- MASKALL J. E. & THORNTON I., *Chemical partitioning of heavy metals in soils, clays and rocks at historical lead smelting sites*, Water, Air and Soils Pollution, Volume 108, (1998), pp.391 – 409.
- MATTASSI G., *Reti di Monitoraggio l'esperienza dell'ARPA FVG*, intervento Summer School 2013- Innovative Technologies for the sustainable management of water resources, Ferrara (2013).
- MERTENS J. & SMOLDERS E., *Zinc – Chapter 17*, in Trace metals and metalloid in Soils and their Bioavailability, Collana Environmental Pollution, Volume 22, (2013), pp.465 – 493.
- MILLIMAN, J.D. & SYVITSKI J.P.D., *Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountain rivers*, Journal of Geology, Numero 100, (1992), pp.525–544.
- MIRABELLA A., *La Caratterizzazione dei minerali Argillosi Mediante la Diffrazione ai Raggi X*, in FIORE S. (a cura di), *V Corso di Formazione – Metodi di Analisi di materiali Argillosi*, Tito scalo, 28-30 settembre 1999, Pubblicato dall'Istituto di Ricerca sulle Argille di Potenza, (2000).
- MORETTI G., ZUZZI L. & PELLIZZATO M., *L'inquinamento marino e lagunare: i metalli pesanti*, Lavori - Soc. Ven. Sc. Nat. - Volume 4, (1979), pp 6-19.
- NACHITE D., AMRI I., ANFUSO G., BELLO E., MAROCCHINO E., BENAVENTE J. & VACCARO C., *Geoquímica de los sedimentos de playas entre Fnideq y M'diq (Tetuán, NE de Marruecos)*, Geogaceta, Volume 38, (2005), pp.159-162.

- NAJIH M. & RAMDANI M., *La biodiversité de la lagune de Nador (Maroc): état des lieux et perspectives de préservation*, in Atti del II Congrès Franco-Maghrébin de Zoologie et IV Journées Franco-Tunisiennes de Zoologie, (2010), p.98.
- NIELSEN R., *Marine algae within calcareous shells from New Zealand*, New Zealand Journal of Botany, Volume. 25, (1987), pp. 425-438.
- OORTS K., *Chapter 13 – Copper*, in Trace metals and metalloids in Soils and their Bioavailability, Collana Environmental Pollution, Volume 22, (2013), pp.367 -394.
- PALAZZI F. & FOLENA G., *Dizionario della lingua italiana*, Loescher editore, (1992).
- PALUMBO F., *Salute e ambiente*, in DI DONNA V. E VALLARIO A. (a cura di), *L'ambiente risorse e rischi*, Liguori editore, (1995), pp.213-250.
- PATAKI G.E & CAHILL J.P., *Technical Guidance for Screening Contaminated Sediments*, Department of Environmental Conservation-Division of Fish, Wildlife and Marine Resource, (1999), pp.1-38.
- PEREIRA A. A., VAN HATTUM B., DE BOER J., VAN BODEGOM P. M., REZENDE C. E. & SALOMONS W., *Trace Elements and Carbon and Nitrogen Stable Isotopes in Organisms from a Tropical Coastal Lagoon*, Arch Environ Contam Toxicol, Volume 59, (2010), pp.464–477.
- POLO F.P., BELLUCCI L. G., TURETTA C., VECCHIATO M., ZAMBON S. & PIAZZA R., *Study of chemical pollution in sediment cores from the Nador lagoon (Morocco). Organic and inorganic contaminants*, Atti del XXIII Congresso Nazionale della divisione di Chimica Analitica della Società Chimica Italiana, Isola D'Elba, (2012), p.268.
- POSTMA, H. (1969). "Chemistry of coastal lagoons". In: *Lagunas costeras, in Simposio, Mem. Simp. Inter. Lagunas costeras*. UNAM/UNESCO, Nov. 28-30, 1967, MEXICO.EDIT. AYALA- CASTANARES A. et PHLEGER F.B., P. 421-430.
- QUAN C., HAN S., UTESCHER T., ZHANG C. & LIU Y., *Validation of temperature–precipitation based aridity index: Paleoclimatic implications*, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology Numero 386, (2013), pp. 86–95.
- RAJI O., NIAZI S., SNOUSSI M., DEZILEAU L. & KHOUAKHI A., *Vulnerability assessment of a lagoon to sea level rise and storm events: Nador lagoon (NE Morocco)*, Journal of Coastal Research, Volume 65, (2013), pp.802-807.
- RE V., SACCHI E., MARTIN-BORDES J.L., AURELI A., EL HAMOUTI N., BOUCHNAN R. & ZUPPI G.M., *Processes affecting groundwater quality in arid zones: The case*

- of the Bou-Areg coastal aquifer (North Morocco), *Applied Geochemistry*, Volume 34, (2013), pp. 181–198.
- RIFAI N., *Contribution à l'élaboration d'un aménagement intégré du littoral de la province de Nador (cas des communes de Beni Chiker et Boudinar)*, Mémoire de 3ème cycle, ENFI, Salé, Maroc, (2007).
- RODRÍGUEZ-BARROSO M. R. , BENHAMOU Y. , EL MOUMNI B. , EL HATIMI I.& GARCÍA-MORALES J. L., *Evaluation of metal contamination in sediments from north of Morocco: geochemical and statistical approaches*, *Environ Monit Assess*, Volume 159, (2009) pp.169–181.
- RUIZ F., ABAD M., OLÍAS M., GALÁN E., GONZÁLEZ I., AGUILÀ E., HAMOUMI N., PULIDO I. & CANTANO M., *The present environmental scenario of the Nador Lagoon (Morocco)*, *Environmental Research*, Volume 102, (2006) pp 215–229.
- RUIZ F., GONZÁLEZ-REGALADO M.L., GALÁN E., GONZÁLEZ M.I., PRUDENCIO M.I., DIAS3 M. I., ABAD M., TOSCANO J.A., PRENDA J. & GARCÍA E.X.M., *Benthic foraminifera as bioindicators of anthropogenic impacts in two north African lagoons: a comparison with ostracod assemblages*, *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, Volume 29, Numero 3, (2012), pp. 527-533.
- SACCHI A., MOUNEYRAC C., BOLOGNESI C., SCIUTTO A., ROGGIERI P., FUSI M., BEONE G. & CAPRI E., *Biomonitoring study of an estuarine coastal ecosystem, the Sacca di Goro lagoon, using *Ruditapes philippinarum* (Mollusca: Bivalvia)*, *Original Research Article Environmental Pollution*, Volume 177, (2013), Pages 82-89.
- SACCHI E., BRENNI S., FORNELLI GENOT S., SALE V. M., AZZOLINA L. & LEONI M.A., *Analisi del contenuto in rame e in altri metalli nei suoli agricoli lombardi RAMET*, in *Quaderni della Ricerca*, Numero 61, (2006).
- SACCON P., LEIS A., MARCA A., KAISER J., CAMPISI L., BOTTCHE M.E., SAVARINO J., ESCHER P., EISENHAEUER A. & ERBLAND J., *Determination of Nitrate Pollution Sources in the Marano Lagoon (Italy) by using a Combined Approach of Hydrochemical and Isotopic Techniques*, *Procedia Earth and Planetary Science*, Volume 7, (2013), pp. 758–761.
- SAINT MARTIN J-P., CONESA G., CORNEE J-J., SAINT MARTIN S., ANDRE J-P., RIBAUD-LAURENTI A. & BENMOUSSA A., *Un processus original de construction-accumulation a vermetes (Messinien, Maroc)*, *C. R. Palevol*, Volume 6, (2007), pp 73–85.
- SAUBADE A.M, *La malacofaune actuelle (Bivalvi set Gasteropodes) de la lagune de Nador (côte méditerranéenne du Maroc)*, *Bull. Inst. Géol. Bassin d'Aquitane*, Bordeaux, Volume 26, (1976), pp 69-90.

- SENG L. & SUN L.P., *Environmental biomonitoring: the possibility of using preserved specimen*. Malays. J. Anal. Sci., Volume 7, (2001), pp.323–326.
- SHAHIDUL ISLAM MD. & TANAKA M., *Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: a review and synthesis*, Marine Pollution Bulletin, Numero 48, (2004), pp. 624–649.
- SNOUSSI M., OUCHANI T. & NIAZI S., *Vulnerability assessment of the impact of sea-level rise and flooding on the Moroccan coast: The case of the Mediterranean eastern zone*, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Volume 77, (2008), pp 206-213.
- STEINNESS E., *Lead – Chapter 14*, in Trace metals and metalloids in Soils and their Bioavailability, Collana Environmental Pollution, Volume 22, (2012), pp. 395 – 410.
- STRAUSS H., *The isotopic composition of sedimentary sulfur through time - Review Paper*, Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, Volume 132, (1997), pp. 97–118.
- SUMMA V., *Analisi granulometrica dei Sedimenti*, in Fiore S. (a cura di), *V Corso di Formazione – Metodi di Analisi di materiali Argillosi*, Tito scalo, 28-30 settembre 1999, Pubblicato dall'Istituto di Ricerca sulle Argille di Potenza, (2000).
- SZEFER P. , KUSAK A. & SZEFER K., *Evaluation of the anthropogenic input of metallic pollutants into Puck Bay, southern Baltic*, Applied Geochemistry, Volume 13, (1998), pp. 293-304.
- TAPIA J., AUDRY S., TOWNLEY B. & DUPREY J. L., *Geochemical background, baseline and origin of contaminants from sediments in the mining-impacted Altiplano and Eastern Cordillera of Oruro, Bolivia*, Geochemistry: Exploration, Environment, Analysis, Volume 12, (2012), pp. 3 –20.
- UMGIESSER, G., I. SCROCCARO, & M. SNOUSS, *Modeling the Nador lagoon, Morocco*. In Proceedings of Medcoast 03 - Sixth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, Ferrara. (2003).
- VALKOVIR O. & BOGDANOVI I., *PIXE and XRF analysis of marine sediments*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B Volume 109/110, (1996), pp. 488-492.
- VIANELLO A., BOLDRIN A., GUERRIERO P., MOSCHINO V., RELLA R., STURARO A. & DA ROS L., *Microplastic particles in sediments of Lagoon of Venice, Italy: First observations on occurrence, spatial patterns and identification*, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Numero 130, (2013), pp. 54 -61.

VINCENTI I., *Metodi di identificazioni di specie in molluschi bivalvi*, Relatori PEPE T. & CORTESI M.L, Università degli studi di Napoli Federico II, 2008.

WEDEPOHL K. A., *The composition of the continental crust*, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Volume 59, Numero 7, (1995), pp. 1217-1232.

WEST, M., ELLIS, A.T., POTTS, P.J., STRELI, C., VANHOOF, C., WEGRZYNEK, D. & WOBRAUSCHEK, P., *Atomic spectrometry update - X-ray fluorescence spectrometry*, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, Volume 27, Numero 10, (2012) pp. 1603-1644.

YANG H., CHEN B., BARTER M., PIERSMA T., ZHOU C., LI F. & ZHANG Z., Impacts of tidal land reclamation in Bohai Bay, China: ongoing losses of critical Yellow Sea waterbird staging and wintering sites, *Bird Conservation International* , Volume 21, (2011), pp.241–259.

ZOURARAH B., MAANAN M. CARRUESCO C., AAJJANE A, MEHDI K. & CONCEIÇÃO FREITAS M., *Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution in the lagoon of Oualidia (Moroccan Atlantic coast)*, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 72, (2007), pp. 359-369.

ZUYKOV M., PELLETIER E. & HARPER D. A.T., Bivalvi mollusks in metal pollution studies: From bioaccumulation to biomonitoring, *Chemosphere*, (2013), In press.

Siti

www.amimalakos.com

www.arpa.veneto.it

www.cia.gov

www.eusoils.jrc.ec.europa.eu

www.fao.org

www.geo.arizona.edu

www.isprambiente.gov.it

www.marchicamed.com

www.natura2000.eu

www.ramsar.org

www.silvenezia.it

www.udinecultura.it

www.wikipedia.org

APPENDICE I

L’Inquinamento

Negli ultimi decenni la politica internazionale ha sempre più dato risalto alle problematiche ambientali, in particolare molti sono stati gli sforzi per attenuare il disagio dovuto all’inquinamento, tanto che molti credono che l’inquinamento sia una problematica contemporanea, della quale l’uomo ha fatto conoscenza a seguito della rivoluzione industriale.

In realtà l’inquinamento è un problema conosciuto da sempre, solo che attualmente si manifesta in maniera più incisiva e globale.

Scrivendo Ippocrate di Chio nel IV sec. a.C.:

“Chi voglia correttamente condurre indagini mediche, ha di fronte a sé questi problemi: in primo luogo deve studiare le stagioni dell’anno, gli influssi che ognuna di esse può esercitare [...]. Deve ancora indagare le proprietà delle acque, perché così come esse differiscono nel gusto e nel peso, altrettanto ne sono ben diverse le proprietà. Sicché quando un medico giunge ad una città che gli è ignota, deve riflettere sulla sua posizione, sull’orientamento sia rispetto ai venti, sia rispetto allo sorgere del sole. [...] Tutto ciò occorre indagare a fondo, e ancora quale sia la situazione riguardo alle acque, se sono usate di molli o stagnanti o piuttosto dure e scaturenti da luoghi elevati e pietrosi o crude e ricche di Sali, e il suolo, se spoglio e umido o fertile di boschi e di acque, se è basso o soffocante oppure elevato e freddo; e quale modo di vita gradiscano gli abitanti, se sono amanti del vino e del cibo e avversi alle fatiche, o se invece amano l’esercizio ginnico e gli sforzi, mangiano molto e bevono poco.”

Ciò sta ad illustrare come fin dall’antichità era chiaro come vi fosse una stretta correlazione tra la salute dell’uomo e la qualità ambientale (Palumbo, 1994). Si riconosceva anche che una cattiva condizione ambientale poteva essere causa di danno non solo alla salute dell’uomo, ma anche ai beni materiali.

Già nel lontano I sec. a.C. Cicerone si lamentava per il degrado degli arredi urbani di Roma anneriti da una “*nube fumosa*”, causata dalla combustione del legno e del carbone usato per il riscaldamento domestico nell’Urbe. Gli stessi Romani erano coscienti del rischio alla salute causato dall’esposizione ad alcuni inquinanti: le loro città ad esempio venivano progettate per limitare i rischi sanitari, con ingenti reti fognarie ben separati dai

canali degli acquedotti. Inoltre conoscevano i rischi alla salute legati al lavoro: ad Almaden in Spagna vi era una miniera di cinnabro, da cui i Romani estraevano il mercurio; la pericolosità di quest'attività era alta, tanto che nella miniera venivano utilizzati solo schiavi, che morivano mediamente dopo 3 anni di attività a causa del mercurialismo.

Nel XIX sec. vi è la grande Rivoluzione Industriale, il primo fenomeno che causerà problemi massivi di inquinamento, con l'immissione nell'atmosfera di CO₂, SO₂, NO₂ e ceneri. Nel 1872 R.A.Smith descriverà il fenomeno, utilizzando per la prima volta il termine piogge acide, per delinare la caratteristica pioggia dal ph alcalino che tende ad erodere con maggiore aggressività le superfici su cui si posa.

L'altra grande Rivoluzione per l'industria è stato il cambiamento di energia: si è passati nel XIX sec. dal carbone al petrolio, con l'immissione in ambiente dei PAHs. Inoltre la nuova industria del '900, tesa a ricercare materiali e prodotti sempre più innovativi, ha sintetizzato numerose sostanze naturali e creato ancor più numerose sostanze artificiali: negli anni '20 hanno fatto la loro comparsa i PCB e negli anni '40 il DDT, due sostanze molto conosciute attualmente a causa dei forti danni che hanno causato all'ambiente (Adriano et al., 1999)

Le politiche ambientali invece hanno una storia molto più recente di quella dell'inquinamento. Già nell'800 nel mondo stava nascendo un'embrione di quella che poi diventerà la coscienza ambientale collettiva. A quei tempi la politica non era gestita in maniera trasversale da tutti i cittadini, ma erano i nobili e i grandi sovrani a legiferare per tutti. Forse per questo motivo le prime azioni ambientali miravano alla Conservazione di ampie aree alla stregua di parchi privati. Nel 1872 viene inaugurato negli USA il Parco di Yellowstone, la prima riserva naturale al mondo. In Italia nel 1919 Vittorio Emanuele II dona allo Stato Italiano i primi 2100 ettari che andranno a formare la Riserva Reale del Gran Paradiso, che diventerà nel 1922 il Primo Parco Nazionale d'Italia. Durante il fascismo si implemeterà l'elenco con il parco Nazionale d'Abruzzo (1923), il Parco Nazionale dello Stelvio (1955) e il Parco Nazionale del Circeo (1936).

Nei primi decenni del '900 dunque la politica tendeva a cercare aree "vergini" nel quale garantire la conservazione delle qualità naturali, senza indagare se si dovessero estendere anche al resto del territorio delle politiche di buon mantenimento degli standard ambientali.

Nel 1968 a Barkley partono le prime proteste studentesche delle Università della California, che ben presto si dilagheranno in tutto il mondo. Essi si ponevano in contrapposizione con la società del consumo e tra i loro slogan vi era la richiesta di una maggiore coscienza ambientale: non era importante avere di più (progresso economico) ma stare meglio (tutela ambientale).

Questo pose un contrasto alle politiche ambientali: gran parte della popolazione, che non condivideva fino in fondo i principi ecologisti, e li vedeva come una richiesta di recessione, si opponeva alla protesta e vedeva di mal occhio certe asprezze del pensiero ecologista. Gli anni '80 e gli anni '90 sono stati cruciali per la nuova coscienza attualmente condivisa da tutti, e molto hanno fatto il mondo accademico e gli scienziati che hanno illustrato in maniera oggettiva e apolitica le possibili conseguenze di una cattiva gestione ambientali. Si è passati così dalla protesta alla proposta e ad una nuova visione di ambiente e salvaguardia. Non solo riserve ma anche aree antropizzate: l'ambiente è un'opportunità di lavoro e di salute e le buone politiche quindi hanno anche un rientro economico: basti pensare alla diminuzione delle spese sanitarie e dei drammi umani che colpiscono invece le aree esposte a forte inquinamento; esempi attuali e tristemente noti sono l'Ilva di Taranto o le aree del Napoletano colpite dall'inettitudine di cammorristi che hanno inquinato cielo e suolo con il business criminale dei rifiuti (Palumbo, 1994).

Ma cos'è l'inquinamento? Una definizione molto generale ma precisa è: insieme di effetti nocivi causati da sostanze tossiche che, liberate nell'aria, nell'acqua e nel suolo, alterano le condizioni naturali e l'equilibrio dell'ambiente (Palazzi & Folena, 1992).

L'inquinamento non è un fenomeno univoco, ma varia molto a seconda del tipo e della modalità della sorgente, dell'area in cui si manifesta e della tipologia alla quale appartiene. Di seguito tratteremo la materia facendo in particolar modo riferimento al comparto terrigeno, oggetto di studio di questa tesi.

La prima distinzione sulle fonti di inquinamento è se si tratta di contaminazioni:

- *Antropiche*: prodotte dall'uomo (es. scarico acque reflue)
- *Naturali*: valori presenti già in natura che però sono dannose per gli esseri che vi entrano a contatto (es. ceneri vulcaniche).

Per distinguere tra i due contributi bisogna fare riferimento ai valori di baseline e background.

- *Baseline*: limite massimo riscontrato a livello globale, in terreni simili, per un dato elemento, o rispetto al valore medio nella crosta terrestre (Wedepohl, 1995).
- *Background* (Rodríguez-Barroso et al., 2009): livello di concentrazione di un elemento nei terreni non contaminati nei pressi dell'area di studio.

Perciò la concentrazione di un dato elemento nel sedimento deve essere messa a confronto con i due parametri sopra descritti: se la concentrazione supera il background è probabile che vi sia un apporto antropico; se comunque supera il baseline, abbiamo a che fare con una contaminazione naturale (Adriano et al., 1999).

Le sorgenti inoltre possono essere (Bruzzi, 1995):

- *Fisse*: es. centrali elettriche inquinanti, macchine e utensili rumorose
- *Mobili*: es. autoveicoli
- *Continue*: es. camini di centrali elettriche
- *Intermittenti*: es. scarico periodico dei bagni di cromatura
- *Puntiformi*: gli inquinanti sono concentrati in aree limitate, ad es. substrati ricchi in certi elementi, come i suoli metalliferi sviluppatosi da rocce serpentinitiche o la localizzazione di pratiche minerarie e siderurgiche
- *Diffuse*: l'area di interesse dell'inquinamento è particolarmente estesa: ad es. le ceneri vulcaniche quando vengono trasportate massivamente dal vento oppure alcune pratiche agricole intensivo-industriali.

Il primo motivo per il quale cerchiamo di evitare l'incremento dell'inquinamento è la salute, sia essa dell'uomo o ambientale. L'inquinamento, come si evince dagli esempi sopra riportati, non è prodotto esclusivo dell'attività umana. La pericolosità di un fenomeno sulla salute è da considerare prendendo in esame un importante principio: qualunque attività umana e persino le condizioni naturali comportano rischi non nulli per la salute. Il rischio zero non esiste.

Perciò la valutazione del livello di inquinamento sottostà agli obiettivi della protezione sanitaria, il primo tra tutti quello di prevenire i danni agli individui esposti a determinati agenti nocivi e si basa su alcuni principi generali.

Essi possono essere riassunti in:

- Principio della giustificazione: ogni sorgente di esposizione è giustificata solo se i benefici attesi non siano ottenibili attraverso altre vie. In sostanza si fa un bilancio dei rischi-benefici scegliendo la via che comporta il maggior beneficio con il minimo rischio.
- Principio dell'ottimizzazione: l'esposizione all'agente inquinante deve avvenire con il più basso valore ragionevolmente raggiungibile: ciò si può valutare delineando quanto si abbassino i rischi per la popolazione aumentando il costo della tecnologia da mettere in atto, e capire quanto ciò sia efficace.
- Principio del limite delle dosi individuali: è importante considerare i limiti imposti dalla legge, che non devono mai essere valicati.

La difficoltà nel delineare questi principi, in particolare i primi due, è capire quale sia il rischio ragionevolmente accettabile, e quali i costi oltre i quali non vale la pena operare. L'unico ambito in cui questi valori sono stati discussi e tratteggiati è il settore nucleare, ma molto si sta facendo anche in altri settori.

Per perseguire gli obiettivi di protezione sanitaria e ambientale la legislatura fa in genere riferimento al metodo degli standard, i quali possono essere divisi in:

- Standard biologici: fissati con criteri conservativi su base tossicologica ed epidemiologica, sono il riferimento fondamentale per la protezione della salute umana;
- Standard ambientali: sono delineati per garantire non solo il benessere umano ma anche quello ambientale; spesso per motivi cautelativi, sono più restrittivi degli standard biologici;
- Standard di emissione: questi standard devono essere coerenti con gli standard ambientali ma possono essere più restrittivi anche in virtù degli effetti sull'ambiente a livello globale.

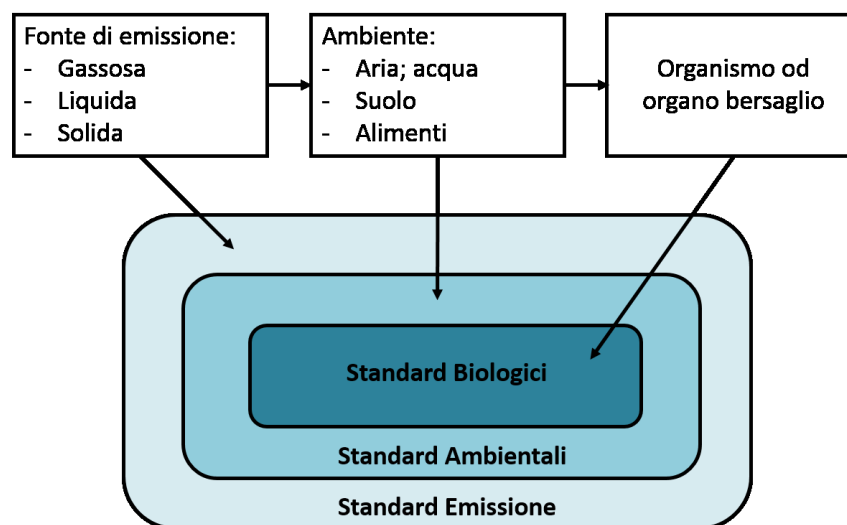


Figura 15 Standard di emissione, di qualità ambientale e di protezione sanitaria come barriere per prevenire i danni alla salute e all'ambiente (da Bruzi, 1995)

APPENDICE II

I sedimenti e la loro qualità

Molte sono in letteratura le definizioni di sedimento, ma la più comune intende, in linea generale, *“un insieme di grani di fine, media e grossa granulometria e particelle organiche che si trovano sul fondo di laghi, stagni, fiumi, torrenti, baie, estuari e oceani (Adams et al., 1992)”*.

Altre definizioni più specifiche dicono che per sedimento si intende *“frazione media e fine (minore di 2 mm) di materiale organico ed inorganico depositato al fondo di bacini acquatici. Nella definizione di sedimento è insito il concetto che esso sia normalmente a contatto della fase liquida corrente (cioè si tratti di materiale usualmente sommerso). Materiali depositati in occasioni di piene, ovvero da corsi d'acqua effimeri non sono, in questo contesto, considerati sedimenti in quanto essi sono prevalentemente soggetti ad alterazioni fisica, chimica, biologica, ed antropica sub-aerea (Calace & Guerra, 2009).*

I sedimenti sono parte integrale della vita acquatica e marina. E' nel sedimento che trovano dimora le varie specie vegetali e animali e il contatto tra questi è il sedimento è lungo e continuo. I sedimenti quindi sono importanti veicoli di sostanze che penetrano nei tessuti per adsorbimento (in parte anche ingestione) da parte degli organismi. Se la matrice terrigena è inquinata, attraverso la catena alimentare, l'inquinante arriva fino agli organismi superiori, compreso l'uomo. Non basta però che l'inquinante abbia una diffusione puntuale; per taluni infatti l'ambiente, in particolare i sistemi acquiferi, hanno una naturale capacità di autorigenerarsi (Mattassi, 2013). L'inquinamento è quindi maggiormente pericoloso quanto più la sorgente ha una diffusione capillare in tutto il corpo dell'acquifero e i tempi di diffusione delle sostanze è lungo e persistente.

E' molto difficile quindi riuscire a capire se i sedimenti siano effettivamente inquinati, quali siano le fonti di inquinamento e se la presenza dell'inquinante sia diventata una realtà incontrastabile. Non basta infatti trovare in un sedimento una sostanza ritenuta inquinante per considerare inquinato il sito.

Questo concetto è estremamente importante, poiché bisogna comprendere anche il livello naturale delle sostanze: ad esempio i metalli pesanti possono essere presenti naturalmente nel sedimento (background level o valore di fondo) e non costituire un pericolo per la vita acquatica. La presenza invece di sostanze sintetiche organiche è

sempre legata ad una fonte antropica, anche se bisogna comunque definire i livelli, poiché non necessariamente la sua presenza è nociva per la vita acquatica.

A livello internazionale lo studio dei sedimenti per la definizione dello stato di qualità della ambiente acquatico è pratica diffusa e imprescindibile. Nelle riviste internazionali si fa spesso riferimento al Sediment Quality Guidelines (SQGs), ovvero gli indicatori di qualità dei sedimenti, che associato al Water Quality Guidelines (WQGs) per le acque, contribuisce alla definizione dello stato di salute degli ambienti acquatici. Vi sono alcuni principi che definiscono il loro uso:

1. Alcune sostanze che si trovano in traccia nella colonna d'acqua hanno invece la tendenza ad accumularsi nei sedimenti
2. I sedimenti terrigeni spesso trattengono le sostanze, fungendo da serbatoi e le rilasciano lentamente nell'ambiente, trasferendo la sostanza alla colonna d'acqua sovrastante anche a lunga distanza di tempo rispetto al momento della contaminazione
3. I contaminanti possono essere anche assorbiti nel materiale solido sospeso che, una volta deposto, contribuisce alla qualità del sedimento. Come detto in precedenza il sedimento è parte integrale dell'ambiente acquatico e influenza in maniera diretta e indiretta lo stato di salute degli organismi che vivono in contatto con esso.

Questo è l'approccio maggiormente presente in letteratura ma per definire il valore SQB nel tempo si sono susseguiti vari criteri, dove la difficoltà più elevata è stata determinare la contaminazione mediante un parametro univoco e matematicamente condivisibile che prenda in esame non solo la quantità di inquinante presente in un dato sedimento ma anche il suo grado di tossicità in relazione al resto dell'ambiente.

A livello internazionale vi è una frattura tra le Regioni EPA (Environmental Protection Agency) degli Stati Uniti le cui linee guida privilegiano i valori ottenuti da studi di esposizione cronica, dando priorità a quelli basati su valutazioni statistiche o sul consenso di diversi lavori scientifici, ottenuti in relazione alla gestione di sedimenti "storici" (Approccio tired = a livelli); mentre il metodo europeo preferisce definire valori tabellari univoci che possano essere presi come valore limite accettabile, centrando le proprie indagini sul sedimento "fresco" e il particolato sospeso (Approccio tabellare).

Entrambi i metodi hanno delle lacune e dei vantaggi, tanto che anche altri Stati non facenti parte di queste legislazioni hanno deciso di adottarne i principi. Ad esempio la

Cina fa riferimento alle linee guida EPA, mentre gli stati del Nord Africa pretendono per gli approcci europei.

I metodi per definire gli standard di qualità ambientale sono di vario genere, e possono essere divisi in base al tipo di approccio:

1. Teorico: si basano su correlazioni teoriche tra le concentrazioni di contaminanti nei sedimenti e le concentrazioni delle stesse sostanze nell'acqua interstiziale oppure su altri metodi;
2. Empirico: si basano su dati di campo; forniscono correlazioni tra dati di concentrazioni chimiche di contaminanti nei sedimenti ed effetti biologici provocati negli organismi bentonici;
3. Combinato: impiegano più approcci metodologici sia teorici che empirici.

Approcci teorici

(SBA) Approccio dei livelli di fondo naturali [Sediment Background Approach]:

Questa metodologia è stata applicata e sviluppata in particolar modo nelle Regioni del Nord America, ad esempio nella Regione dei Grandi Laghi in Canada. Si tratta di fare un confronto tra i valori di concentrazione di un dato elemento in un campione non contaminato (background) e i dati relativi al sito oggetto di studio. Se la concentrazione del campione non supera i valori del background non c'è contaminazione rispetto ai valori naturali (Mac Donald, 1994). Il metodo richiede solamente un dato chimico riferito al comparto sedimentario e si evita di considerare fonte di rischio ambientale concentrazioni che dal punto di vista legislativo sono elevate ma che in realtà sono condizione naturale di un dato ambiente. Ovviamente questo metodo non prende in alcun modo in considerazione la biodisponibilità e gli effetti nocivi sulla salute animale e vegetale. Inoltre non si possono valutare le problematiche legate all'inquinamento da composti organici sintetici.

(SSTT) Test di tossicità su sedimenti drogati [Spiked sediment toxicity]: Il test viene condotto esclusivamente in laboratorio. Per ogni tipologia di sedimento, o miscela, e per ogni organismo acquatico si valutano le risposte rispetto ad un graduale aumento della dose di inquinante. Si individuano quindi le relazioni causa-effetto tra le dosi degli specifici contaminanti e le risposte biologiche (mortalità, riduzione nella crescita o nella

riproduttività, variazioni fisiologiche, ecc.) provocate negli organismi bentonici (Adams et al., 1992). Il limite maggiore del metodo è che le condizioni ambientali non sono totalmente paragonabili alle condizioni del laboratorio, tuttavia il metodo è un ottimo studio per determinare gli effetti sulla salute di un determinato elemento e quali siano le concentrazioni che indichino un campanello d'allarme rispetto al grado di tossicità di un ambiente.

(PEC) Approccio della concentrazione nell'acqua interstiziale [Porewater Effect

Concentration]: Il presupposto è che l'acqua contenuta nei pori del sedimento è il maggior veicolo con cui si propagano le sostanze pericolose del sedimento, perciò è indicativa del grado di tossicità di un sito (Adams et al., 1992). La metodologia prevede tre fasi:

- i. Isolamento dell'acqua interstiziale dal sedimento;
- ii. Conduzione di un test di tossicità su organismi acquatici fatti vivere nell'acqua interstiziale raccolta;
- iii. Applicazione del valore TIE (Toxicity Identification Evaluation) per comprendere quale sia l'elemento inquinante e quale sia il grado di tossicità. Questo valore è costruito grazie alla letteratura pregressa.

Il limite maggiore di questo approccio è la difficoltà di estrarre adeguate quantità di acqua interstiziale per permettere i test in laboratorio; nonostante l'immediatezza del metodo, che mette in relazione diretta la qualità dell'acqua interstiziale (e quindi del sedimento) con le risposte sulla salute degli organismi acquatici, a volte prende in esame specie che normalmente non entrano in contatto con il sedimento e quindi nell'ambiente naturale non sarebbero esposte all'inquinante e il valore TIE non ha una casistica robusta, che renda più verosimile il responso finale.

(EqP) Equilibrio di ripartizione [Equilibrium Partitioning Approach]

E' uno degli approcci più studiati ed approfonditi per definire criteri di qualità dei sedimenti per sostanze organiche non polari e per miscele di metalli, raccomandato in particolar modo dalle linee guida EPA. Questo approccio prende in esame la capacità di equilibrio termodinamico, dopo un certo periodo di tempo, tra il contaminante presente nel sedimento e quello concentrato nelle acque che si trovano nella porosità del sedimento stesso. Per ogni sostanza si può definire il meccanismo di ripartizione in base ai criteri di qualità stabiliti per le acque (Pataki e Cahill, 1999).

Il valore SQB ($\mu\text{g/Kg}$) viene ricavato mettendo in relazione valori determinati da una visione protettiva per le specie acquatiche, come FCV (Final Chronic Values, l/Kg) con

K_p (*partitioning coefficient*) il coefficiente di ripartizione fase solida-acqua [$L\ kg^{-1}$], determinato per ogni elemento

[6]
$$SQB = K_p * FCV$$

K_p dipende dal coefficiente di ripartizione del carbonio organico (K_{OC}) e dalla frazione di carbonio organico del sedimento (f_{OC}); K_{OC} può essere calcolato in base al coefficiente di ripartizione ottanolo-acqua della sostanza (K_{OW}).

In questo modo la concentrazione di contaminante nel sedimento viene indicata non solo tenendo conto dei parametri legislativi, ma anche considerando che la concentrazione nel sedimento non rilasci a contatto con l'acqua una quantità di sostanze che portino le acque superficiali a superare le soglie limite definite per legge.

(AVS) Acid Volatile Sulfides [contenuto di solfuri volatili]: La concentrazione totale dei metalli non è un dato valido per determinare lo stato di qualità del sedimento, ancor meno la biodisponibilità. I sedimenti in aree umide, che siano marine o di acqua dolce, tendono ad essere ricchi in solfati e gli ioni metalli sono propensi a complessare in sali non solubili. Per questo motivo l'EPA ha sviluppato una metodologia per definire i valori limite sito specifici per metalli (Cd, Pb, Ni, Cu, Ag e Zn) basandosi sull'approccio EqP. Si calcola il SEM, ovvero il contenuto di metalli estratti simultaneamente dal terreno con l'AVS, che è la concentrazione di solfuri volatili, inoltre solubili in HCl. Se riscontriamo che i metalli estratti (SEM) sono inferiori in concentrazione ai solfuri volatili (AVS) si assume che i metalli non producano effetti tossicologici avversi per gli organismi acquatici in quanto essi tendono a legarsi alla frazione dei solfuri volatili presenti nel sedimento, complessando in Sali che in condizioni ambientali sono scarsamente solubili e di conseguenza non vengono assorbiti dagli organismi viventi (Adams et al., 1992).

(TRA) Livello residuo nei tessuti [Tissue residue approach]: Il metodo in questione cerca di mettere in evidenza quale sia l'accumulo di determinati elementi nei tessuti e come un elemento pericoloso possa salire nella scala alimentare, dal sedimento fino ai mammiferi, per bioaccumulo e bionagnificazione. In seguito a test di esposizione fatti in laboratorio la metodologia tenta di valutare quale sia il valore MPTC (Maximum Permissible Tissue Concentration) ovvero la soglia entro cui un preciso elemento può essere concentrato nei tessuti di un determinato organismo senza danni alla salute.

Ioni organici [*Ionic organics*]: Alcuni tipi di terreni (ad esempio argille) hanno una maggiore capacità di assorbire ioni organici, tuttavia anche altri fattori ambientali, come il pH e la temperatura possono favorire o meno questi processi (Adams et al., 1992). Per poterli comprendere è importante calcolare la Concentrazione critica delle micelle (CMC)¹²: vi è un punto critico oltre il quale i surfattanti anionici vengono assorbiti dal terreno, virando il comportamento fisico della superficie terrigena, come la conducibilità elettrica, la densità o la tensione superficiale. Il calcolo della variazione di uno di questi parametri in funzione del comportamento tipico di un tipo di sedimento serve per determinare sperimentalmente il valore della CMC. Questo approccio serve per capire in quale entità il sedimento entra in contatto con i tensioattivi, se il mutare delle condizioni ambientali (ad esempio innalzamento delle temperature) può dar luogo ad un rilascio veloce e anche quali possano essere le corrispondenze con il bioaccumulo.

Tossicità del bulk [*Bulk Sediment Toxicity*]: Il sedimento da valutare viene portato in laboratorio e viene utilizzato per allevare delle specie animali e vegetali e comprendere come e se nel corso del tempo le condizioni del sedimento possono produrre effetti nocivi che vadano a colpire la salute, la crescita e la capacità di riproduzione degli organismi acquatici. Il metodo viene applicato spesso per comprendere se i sedimenti provenienti da discariche sono effettivamente tossici o se i dragaggi possono essere utilizzati senza rischi per ripasciare o riempire altre aree acquatiche. Questa metodologia si avvicina ad uno dei criteri del Triad Approach. Il maggior limite è la difficoltà di comprendere qual è l'elemento che causa effettivamente gli effetti nocivi sulla salute dei biota acquatici.

Approccio della popolazione bentonica di mare e/o d'acqua dolce [*Marine and/or Freshwater benthic approach*]: Lo studio prevede una valutazione della salute della popolazione bentonica di un determinato sito. Si valuta la struttura della comunità, valutando la distribuzione tassonomica e il numero degli individui per ogni specie; la valutazione funzionale invece serve a determinare il livello trofico e le caratteristiche morfologiche degli organismi. I dati raccolti vengono messi in relazione alla situazione di aree non contaminate. Il metodo è spesso utilizzato assieme ad altri approcci, come il Triad Approach o l'Apparent Effect Threshold. Questo tipo di indagine è stata utilizzata per studiare problemi altamente localizzati di inquinamento, come la fuoriuscita di petrolio, punti di scarico, arricchimenti organici, arrivo diretto di reflui agricoli e scarichi di

¹² La concentrazione micellare critica rappresenta il valore di concentrazione di una soluzione di tensioattivo alla quale, raggiunta o superata la temperatura di Krafft (temperatura micellare critica), un certo numero di monomeri si aggrega portando alla formazione di micelle.

veicoli lungo le tratte più frequentate. Il limite maggiore è che questo metodo non riesce a descrivere gli effetti di tossicità di un determinato elemento.

Approcci empirici

(SLC) Concentrazione del livello di Screening [Screening Level Concentration]: Il sistema si basa sulla valutazione della resistenza alla contaminazione da parte di una specie bentonica (Pataki e Cahill, 1999). Nel sedimento viene aggiunta a vari gradi un certo contaminante: il valore SLC corrisponde alla massima concentrazione del contaminante a cui il 95% della popolazione bentonica presa in esame riesce a sopravvivere.

(AET) Approccio della soglia degli effetti apparenti [Apparent Effects Threshold]: Il metodo prende il via da un confronto diretto tra gli effetti biologici e i dati chimici; si stima il valore massimo di concentrazione di un elemento nel sedimento entro cui non si riscontrano problemi di tossicità. Il metodo utilizza parametri statistici per stabilire correlazioni quantitative tra specifici contaminanti nei sedimenti ed effetti biologici (misurati su campo o in laboratorio) osservati negli organismi bentonici. Il metodo per essere applicato ha bisogno di alcune presupposti:

- i. Ampia casistica con la quale determinare il rapporto tra chimismo ed effetti biologici
- ii. Avere siti non contaminati come riferimento
- iii. Determinare AET per ogni elemento contaminante

Il metodo si presenta un ottimo strumento come screening delle condizioni di salute di un ambiente ma è comunque difficile da applicare. Infatti l'elemento tossico coesiste assieme ad altri ed è difficile far corrispondere gli effetti sulla salute ad un solo inquinante.

Approcci combinati

(SQT) Approccio della Triade [Sediment Quality Triad]: Per Triade si intendono i tre criteri presi in considerazione per descrivere la qualità del sedimento (Adams et al., 1992):

1. Il chimismo del sedimento: determinare con l'accuratezza più elevata la qualità e quantità di contaminante, sia organico che inorganico;
2. Informazioni sulla tossicità del sedimento mediante test controllato in laboratorio;
3. Misurazione in situ della salute della comunità bentonica: questo comparto biologico viene scelto poiché vive immerso nel sedimento e non è particolarmente mobile, perciò specifico dell'area di prelievo.

I dati vengono poi riuniti e il grado di contaminazione di un sito viene definito mediante un valore medio RTR (ratio-to-reference) che, inserito in una scala, definisce il tasso di contaminazione di un ambiente. Il pregio di questo approccio è che può essere facilmente applicato a qualsiasi tipo di sedimento, ma il limite è che a volte è difficile comprendere se gli effetti sulla salute sono da imputare ad un solo inquinante o ad un insieme di elementi, oppure ad elementi che il limite di rilevabilità dello strumento adottato non è in grado di individuare.

(ERL/ERM) Approccio dei range di effetto [Effect Range Approach]: Il metodo mette in relazione aritmetica i valori dell'intervallo degli effetti inferiori (ERL) e dell'intervallo d'effetto medio (ERM), i quali indicano rispettivamente le concentrazioni di contaminanti che corrispondono rispettivamente al 10mo e al 50mo percentile della distribuzione dei dati di concentrazione di uno specifico composto per i quali sono stati registrati effetti tossici sugli organismi bentonici. Il metodo è stato sviluppato prendendo in esami molti approcci per il SQB (come l'EqP o l'AET) e osservando gli effetti biologici provocati negli organismi bentonici.

(TEL/PEL) Livelli di effetto [Effect Level Approach]: Il metodo è molto simile al precedente, ma i dati sono elaborati con una media geometrica per definire i livelli di precauzione. Inoltre la modellizzazione considera anche i dati di sedimenti che non hanno fatto registrare effetti biologici avversi per gli organismi bentonici (cosiddetti no effects data)

(TEC/PEC) Approccio basato sul consenso [Consensus Method]: Il metodo ha come fine di delineare SQB incrociando i dati ottenuti da ricerche differenti e con metodologie differenti. I dati vengono elaborati tenendo conto della comprensibilità degli approcci di derivazione adottati dal metodo, del grado di correlazione tra dati di concentrazione misurati ed effetti biologici risultanti e dell'originalità dell'approccio. Tutti i dati vengono elaborati con un sistema matematico da cui scaturiscono valori utili per

definire la concentrazione di effetto soglia (threshold effects concentrations, TEC) e la concentrazioni di probabile effetto (probable effects concentrations, PEC).

Ogni metodo per la valutazione della qualità dei sedimenti comporta vantaggi e svantaggi: per i risultati attesi, i costi e la fattibilità del metodo (vedi Tabella 1). Perciò è importante decidere con cura quale approccio applicare all'indagine in corso.

| Nome del metodo | | Specifico elemento chimico | Sito specifico | Valutazione del gruppo di elementi chimici | Validazione sul campo | Costi relativi | Incertezza del metodo |
|-----------------------|-----------------|----------------------------------|-------------------|---|--------------------------|-------------------|-----------------------------|
| <i>Equilibrium</i> | | sì | no | no | parziale | bassi | moderata |
| <i>Partitioning</i> | | | | | | | |
| <i>Apparent</i> | <i>Effects</i> | sì | sì | sì | sì | alti | bassa/ moderata |
| <i>Threshold</i> | | | | | | | |
| <i>Sediment</i> | <i>Quality</i> | sì | sì | sì | sì | alti | bassa/ moderata |
| <i>Triad</i> | | | | | | | |
| <i>Bulk</i> | <i>Sediment</i> | no | sì | sì | sì | bassi | bassa |
| <i>Toxicity</i> | | | | | | | |
| <i>Interstitial</i> | <i>water</i> | sì | sì | sì | parziale | moderati | moderata |
| <i>approach</i> | | | | | | | |
| <i>Spiked</i> | <i>sediment</i> | sì | sì | no | parziale | moderati | moderata |
| <i>toxicity</i> | | | | | | | |
| <i>Tissue</i> | <i>residue</i> | sì | sì | no | no | alti | non conosciuta |
| <i>approach</i> | | | | | | | |
| <i>Freshwater</i> | <i>benthic</i> | no | sì | sì | sì | alti | bassa |
| <i>approach</i> | | | | | | | |
| <i>Marine</i> | <i>benthic</i> | no | sì | sì | sì | alti | bassa |
| <i>approach</i> | | | | | | | |
| <i>Ionic organics</i> | | sì | no | no | no | bassi | non conosciuta |
| <i>Metals</i> | | sì | no | no | parziale | bassi | moderata/ alta |

Tabella 10 Comparazione tra i alcuni metodi per la valutazione della qualità dei sedimenti (da Adams et al., 1992).

Adams et al., (1992). propone un semplice schema (vedi Fig.144) che riassume con chiarezza i vari passi da portare avanti in caso di indagine ambientale al fine di individuare lo stato qualitativo del comparto sedimentario (lo stesso approccio può essere preso in considerazione anche per l'analisi della qualità delle acque). E' evidente come lo solo studio del comparto terrigeno da un punto di vista geochimico e petrografico a volte non sia sufficiente e deve essere integrato da uno studio biologico sugli effettivi effetti di tossicità dell'inquinamento in atto.

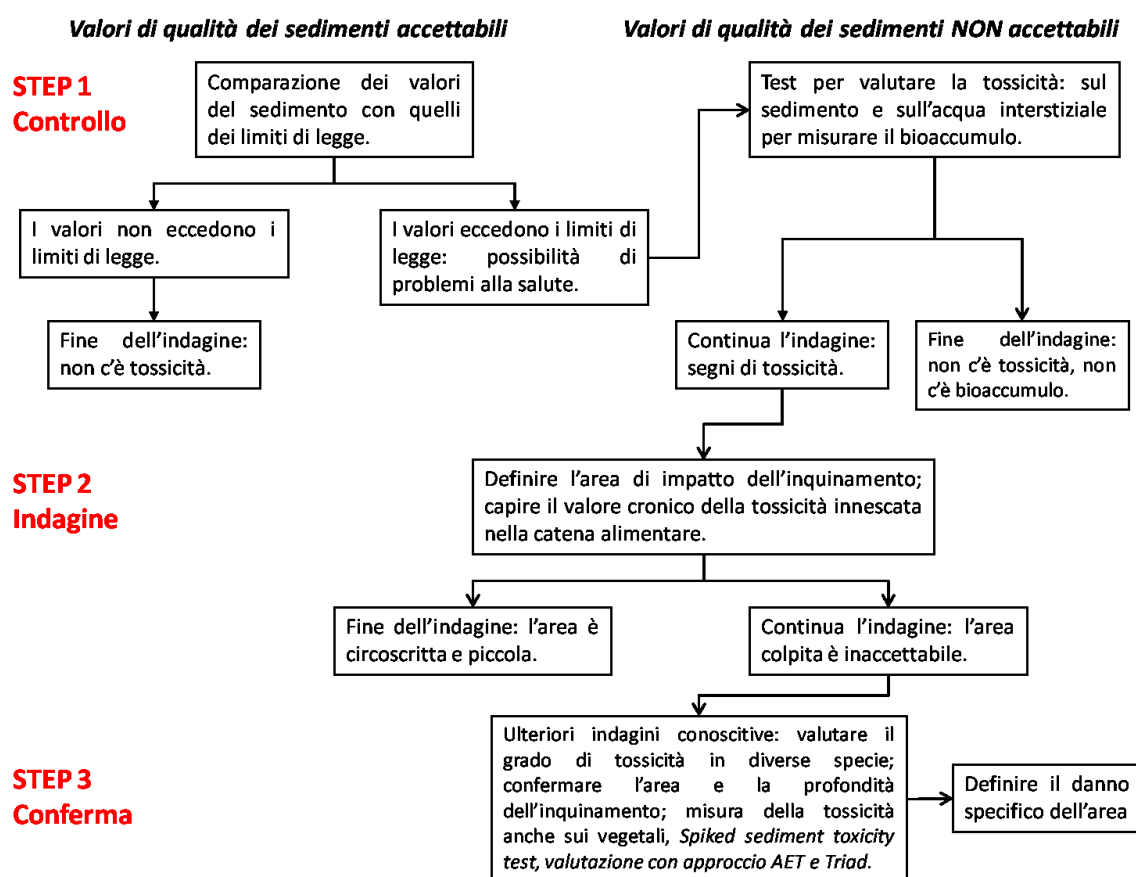


Figura 144 Azione di lavoro per la determinazione della qualità dei sedimenti (da Adams et al., 1992).

Già da questa introduzione capiamo che il concetto di sedimento e di livello di inquinamento è molto complesso e mette in gioco non solo la salvaguardia ambientale ma anche l'interesse politico ed economico, e con il tempo sono stati definiti da vari organi numerosi parametri.

Ad esempio le legislature che si sono sviluppate nel mondo hanno concetti di tolleranza differenti. La legislazione americana si basa sui valori di esposizione antropica, al fine di salvaguardare il benessere umano; la legislazione europea e canadese invece ha leggi

generalmente più restrittive, in quanto il principio è quello di minimizzare i fattori di rischio per tutti i comparti e i soggetti ambientali, non solo l'uomo (Adriano et al., 1999).

I valori espressi in ambito legislativo sono generalmente di tre diverse categorie:

- *Valore di riferimento*: massima concentrazione nel terreno di uno specifico inquinante tale da non compromettere o limitare la multifunzionalità del suolo;
- *Valore di tolleranza*: massima concentrazione di uno specifico contaminante nel suolo in relazione a specifici usi del terreno. Sopra tale valore azioni di decontaminazione non sono immediatamente necessarie ma sono richiesti il monitoraggio o un cambiamento di uso del suolo;
- *Valore di rimedio*: limite massimo, relativamente ad uno specifico uso del suolo, sopra il quale sono necessarie indagini relative alla determinazione del rischio e conseguenti azioni di decontaminazione.

Il grado di benessere che viene ricercato dai parametri legislativi è il punto di partenza per la definizione dei valori. Ad esempio un certo elemento inquinante disperso nell'atmosfera può essere tollerato dall'uomo ma lo stesso può diventare pericoloso per la sopravvivenza di alcune specie animali o vegetali. L'ambiente non è solo l'uomo e la perdita di un solo elemento può causare la fine di un equilibrio che, come un domino, alla fine colpisce anche il benessere della specie umana.

APPENDICE III

La legislatura in materia ambientale

I cenni storici riportati nel capitolo precedente mettono in luce come una seria coscienza ambientale sia emersa dopo un processo lungo e tormentato di accettazione del fatto che un'attività indiscriminata dell'uomo può essere la causa del declino delle risorse naturali e della salute della popolazione. Questo processo è molto recente: basti pensare che in Italia il Ministero dell'ambiente è nato negli anni '70 e le sue competenze attualmente sono trasversali a quelle di molti altri ministeri e messe in atto con la collaborazione di quest'ultimi.

Ma le grandi spinte al cambiamento politico sono nate dalle Riunioni Mondiali di esperti e politici, i quali al termine dei lavori, hanno redatto importanti carte con le linee guida da adottare per migliorare le pratiche ambientali nei Paesi partecipanti. Spesso questi principi sono stati disattesi, ma resta il fatto che i documenti elaborati sono principi che il legislatore cerca di mettere in atto e senza i quali forse alcuni miglioramenti oggi apprezzabili nemmeno vi sarebbero stati. Un esempio di successo è stata la campagna per la riduzione del buco dell'ozono: in poco tempo tutti gli stati aderenti hanno messo al bando i DDT, riconosciuti come responsabili principale del problema e, anche se in alcuni punti l'ozono risulta ancora troppo sottile, si stima che in qualche decennio si possa ritornare alle condizioni antecedenti all'immissione dei CFC.

Le convenzioni stipulate sono numerose, ma le più importanti, poiché internazionalmente condivise sono:

- *Convenzione di Oslo del 1972*
- *Convenzione di Londra (protocollo 96) del 1972*
- *Convenzione di Parigi del 1974*
- *Convenzione OSPAR del 1992*
- *Convenzione di Barcellona (protocollo Dumping) del 1995*

Nella convenzione di Londra del 1972 si capisce qual è la drammatica previsione per gli ecosistemi marini, dichiarando che *“ormai è chiaro che il fondo del mare non può essere usato come una discarica in quanto non possiede una capacità illimitata di assimilazione e smaltimento”*.

Le Convenzioni che si sono succedute nel tempo, pur migliorando e modificando le linee guida, mantengono alcuni principi essenziali:

1. Principio precauzionale: è consentito sversare negli ecosistemi acquatici e marini solo alcune sostanze riconosciute come non nocive all'ambiente: questa valutazione deve essere fatta previa caratterizzazione dell'ambiente di sversamento, (sedimento, acque) e le amministrazioni devono garantire un monitoraggio continuo degli ambienti in modo da prevenire e arrestare possibili alterazioni pericolose.
2. Principio di "chi inquina paga": chi introduce sostanze inquinanti nell'ambiente ha il dovere di pagare alla comunità i costi per il danno procurato e quelli per le azioni di contenimento e smaltimento dell'inquinamento
3. Principio di gestione integrata: il territorio deve essere gestito in maniera integrata tra tutti gli organi preposti, tenendo in considerazione non solo gli aspetti prettamente ambientali, ma anche i risvolti socio-economici delle aree antropizzate.

Il principio cardine di tutte queste convenzioni è quello di non degradare e distruggere il patrimonio ambientale, a beneficio del benessere attuale e quello delle future generazioni.

Al mondo poi esistono numerose leggi nazionali e locali che integrano e aggiornano le linee guida delle convenzioni internazionali. Le definizioni sono molto varie, sia per cosa si indica come sedimento (nostro interesse di studio), sia per cosa sia il contaminante e, in particolare, le soglie d'allerta.

Secondo la definizione proposta dal Department of Environmental Conservation dello Stato di New York (Pataki & Cahill, 1999), i contaminanti sono *“Qualsiasi solido, liquido, semisolido disciolto in materiale solido e gassoso, o agente patogeno che in seguito a esposizione, ingestione, inalazione o tramite ingestione indiretta attraverso la catena alimentare può porre il rischio di morte, malattia, disfunzioni anomale, cancro, mutazioni genetiche, malfunzionamenti fisiologici o deformazioni fisiche negli organismi e nella loro discendenza.* Nella stessa direttiva in cui troviamo questa definizione vi è una parte dedicata ai *“sediment criteria”* dove si specifica che è importante che il sedimento rientri in parametri che non ne compromettano le qualità ambientale per i biota o per la salute umana.

Questo punto è fondamentale in quanto definisce che i sedimenti sono contaminati non tanto per la presenza intrinseca di un elemento o sostanza ma perché i livelli raggiunti compromettono l'equilibrio con l'ambiente e la salute umana. Su questo concetto si dibatte molto a livello legislativo, poiché gli interessi in gioco nella politica sono molteplici e spesso la salvaguardia ambientale non è al primo posto.

Facendo riferimento alla problematica oggetto di studio di questa tesi, ovvero la qualità ambientale di un'area lagunare, in Italia si fa riferimento al DM 367/03 *“Regolamento concernente la fissazione di standard di qualità nell'ambiente acquatico per le*

sostanze pericolose, ai sensi dell'articolo 3, comma 4, del D.Lgs. 11 maggio 1999, n. 152.” In questo documento vengono introdotti nella legislazione italiana gli standard di qualità dei corpi idrici superficiali (marino-lagunari e di acque dolci superficiali) da raggiungere in due fasi, rispettivamente nel 2008 e nel 2015. Inoltre vengono stilate delle linee guida per gli standard di qualità dei sedimenti degli ambienti umidi marini, con riferimento specifico ad alcuni contaminanti (metalli pesanti e composti organici). Poiché le normative ambientali e le tematiche prese in esame sono ampie e di vario genere, per la trattazione si intende indagare in maniera specifica la problematica legata alla contaminazione dei suoli da parte dei metalli pesanti.

A livello mondiale i parametri proposti nelle leggi sono alquanto dissimili e prendono in esame aspetti differenti del problema. Ad esempio in Europa, dove vi sono delle linee guida condivise da tutta l'Unione, permangono comunque alcuni particolarismi, spesso dettati da una maggior scrupolosità legislativa. L'Austria ad esempio le concentrazioni di metalli pesanti consentite nei suoli vengono calcolate in base ai principi della protezione vegetale: si considerano gli effetti dell'inquinante sulle piante e si fissano limiti diversi al variare dei periodi dello sviluppo vegetativo (aprile-ottobre/novembre-marzo) (Bruzzi, 1995). In Olanda il contenuto di metalli pesanti viene definito mediante il confronto tra il contenuto totale, la percentuale di argille e di sostanze organiche.

La legislatura tedesca fa riferimento a tecniche di estrazione dei metalli con Nitrato d'ammonio 1M e non riporta un unico valore limite di legge, ma fa un distinguo tra valore di riferimento, di tolleranza e di rimedio, riferito ad ogni inquinante, in relazione all'uso del suolo.

- Valore di riferimento: massima concentrazione nel terreno di uno specifico contaminante tale da non compromettere la multifunzionalità del suolo
- Valore di tolleranza: massima concentrazione nel terreno di uno specifico contaminante in relazione allo specifico uso del suolo. Se il valore è superiore bisogna operare alla mitigazione e prendere in esame azioni di monitoraggio o il cambiamento della destinazione di uso del suolo.
- Valore di rimedio: massima concentrazione nel terreno di uno specifico contaminante in relazione allo specifico uso del suolo. In questo caso vi è un rischio ambientale, perciò le indagini devono essere finalizzate alla determinazione del rischio ed eventuale opera di decontaminazione.

In Italia invece per definire il livello di inquinamento da metalli pesanti si fa riferimento ai risultati delle analisi sulla CSC e il pH del terreno, oltre all'estrazione in acqua regia dei metalli per capire quale sia la loro mobilità nel terreno. Nella legislatura italiana si fa riferimento ai valori massimi ammissibili in base all'uso del suolo, che è generalmente diviso in uso residenziale e verde pubblico, uso industriale. In alcuni corpus legislativi più specifici, legati alla salvaguardia degli ambienti umidi troviamo anche i valori riferiti al sedimento in ambiente umido. I valori massimi sono da intendersi non per il contenuto totale in metalli pesanti, ma per il contenuto di metalli pesanti mobili, ovvero in seguito ad estrazione con acqua regia. Il DL.vo 22/1997 ha costituito il primo tentativo nazionale di affrontare il problema dello studio della qualità dei sedimenti e delle acque, attraverso una serie di norme tecniche attuative contenute nel DM 471/1999.

L'art. 2 fornisce una serie di definizioni, tra le quali:

Sito: area o porzione di terreno, geograficamente definita e delimitata, intesa nelle diverse matrici ambientali e comprensiva delle eventuali strutture edilizie e impiantistiche presenti.

Sito inquinato: sito che presenta livelli di contaminazione o alterazioni chimiche, fisiche o biologiche del suolo o del sottosuolo o delle acque superficiali o delle acque sotterranee tali da determinare un pericolo per la salute pubblica o per l'ambiente naturale o costruito. Ai fini del presente decreto è inquinato il sito nel quale anche uno solo dei valori di concentrazione delle sostanze inquinanti nel suolo o nel sottosuolo o nelle acque sotterranee o nelle acque superficiali risulta superiore ai valori di concentrazione limite accettabili stabiliti dal presente regolamento.

Sito potenzialmente inquinato: sito nel quale a causa di specifiche attività antropiche pregresse o in atto, sussiste la possibilità che nel suolo o sottosuolo o nelle acque superficiali o nelle acque sotterranee siano presenti sostanze contaminanti in concentrazioni tali da determinare un pericolo per la salute pubblica o per l'ambiente naturale o costruito.

Queste differenze sono legate al fatto che la mobilità, e quindi la biodisponibilità dei metalli pesanti nel terreno è soggetta a molte variabili, tra cui il pH, il contenuto di argille, la tessitura, il livello di ossidoriduzione, la CSC, e le varie legislature per semplicità tendono a scegliere uno o alcuni di questi parametri da mettere in relazione al dato del contenuto in metalli pesanti.

Nonostante le differenze tutti i regolamenti degli Stati Membri UE fanno capo alle direttive comunitarie Europee. Tra i vari atti legislativi, per il nostro caso di studio, citiamo la **DIR 2008/56/CE: *quadro per l'azione comunitaria nel campo della politica per l'ambiente marino***.

La normativa europea ha come proposito fissare gli obbiettivi per giungere a livelli accettabili di qualità degli ambienti marini, prendendo in considerazione sia il comparto terrigeno e delle acque che il benessere dei bioti e dell'uomo. Questi obbiettivi sono contemplati anche dalla convenzione delle Nazioni Unite sul diritto del mare (UNCLOS), sottoscritta anche dall'Unione Europea e messa in atto tramite questa direttiva. Inoltre si propone di istituire nuove aree marine protette e di finanziare, oltre alle buone pratiche di salvaguardia ambientale, anche quelle di cooperazione tra Stati attigui (anche non membri). Tale quadro normativo non fissa i valori limite o le metodologie da mettere in atto ma i principi che devono guidare gli Stati membri nella determinazione degli stessi e le regole per determinare la competenza e gli obblighi sul monitoraggio delle aree marine.

Tra le varie disposizioni esposte citiamo l'Allegato I: *“Descrittori qualitativi per la determinazione del buono stato ecologico (articolo 3, paragrafo 5, articolo 9, paragrafi 1 e 3, e articolo 24)*

1. *La biodiversità è mantenuta. La qualità e la presenza di habitat nonché la distribuzione e l'abbondanza delle specie sono in linea con le prevalenti condizioni fisiografiche, geografiche e climatiche.*
2. *Le specie non indigene introdotte dalle attività umane restano a livelli che non alterano negativamente gli ecosistemi.*
3. *Le popolazioni di tutti i pesci e molluschi sfruttati a fini commerciali restano entro limiti biologicamente sicuri, presentando una ripartizione della popolazione per età e dimensioni indicativa della buona salute dello stock.*
4. *Tutti gli elementi della rete trofica marina, nella misura in cui siano noti, sono presenti con normale abbondanza e diversità e con livelli in grado di assicurare l'abbondanza a lungo termine delle specie e la conservazione della loro piena capacità riproduttiva.*
5. *È ridotta al minimo l'eutrofizzazione di origine umana, in particolare i suoi effetti negativi, come perdite di biodiversità, degrado dell'ecosistema, proliferazione dannosa di alghe e carenza di ossigeno nelle acque di fondo.*

6. *L'integrità del fondo marino è ad un livello tale da garantire che le strutture e le funzioni degli ecosistemi siano salvaguardate e gli ecosistemi bentonici, in particolare, non abbiano subito danni.*
7. *La modifica permanente delle condizioni idrografiche non influisce negativamente sugli ecosistemi marini.*
8. *Le concentrazioni dei contaminanti presentano livelli che non danno origine a effetti inquinanti.*
9. *I contaminanti presenti nei pesci e in altri frutti di mare destinati al consumo umano non eccedono i livelli stabiliti dalla legislazione comunitaria o da altre norme pertinenti.*
10. *Le proprietà e le quantità di rifiuti marini non provocano danni all'ambiente costiero e marino.*
11. *L'introduzione di energia, comprese le fonti sonore sottomarine, è a livelli che non hanno effetti negativi sull'ambiente marino.*

Per determinare i requisiti di buono stato ecologico per una regione o sottoregione marina come previsto all'articolo 9, paragrafo 1, gli Stati membri considerano ognuno dei descrittori qualitativi elencati nel presente allegato al fine di individuare quali di essi usare per determinare il buono stato ecologico della regione o sottoregione marina in questione. Se uno Stato membro non ritiene opportuno usare uno o più di tali descrittori, fornisce alla Commissione una motivazione nel quadro della comunicazione ai sensi dell'articolo 9, paragrafo 2."

Questo passo della direttiva è importante perché ribadisce con precisione come l'ambiente marino sia composto da un insieme di comparti connessi e la perdita di qualità anche di uno solo di essi può diminuire il buono stato ecologico di tutta l'area oggetto di studio.

Le normative italiane hanno recepito queste direttive e nel tempo hanno delineato i valori di riferimento. A tale proposito citiamo la norma attualmente vigente, ovvero il *D.M Ambiente 56/2009*, il quale definisce i criteri di valutazione, monitoraggio e decontaminazione dei corpi idrici marino-costieri e di transizione, sia della colonna d'acqua che del comparto sedimentario e della salute dell'ecosistema animale e vegetale.

Riportiamo di seguito la Tabella 2/A che definisce gli standard di qualità nei sedimenti.

| NUMERO CAS | PARAMETRI | Squa-MA (1) (2) |
|------------|------------------------------|-----------------|
| | Metalli | mg/kg s.s |
| 7440-43-9 | Cadmio | 0,3 |
| 7439-97-6 | Mercurio | 0,3 |
| 7440-02-0 | Nichel | 30 |
| 7439-92-1 | Piombo | 30 |
| | Organo metalli | µg/kg |
| | Tributilstagno | 5 |
| | Policiclici Aromatici | µg/kg |
| 50-32-8 | Benzo(a)pirene | 30 |
| 205-99-2 | Benzo(b)fluorantene | 40 |
| 207-08-9 | Benzo(k)fluorantene | 20 |
| 191-24-2 | Benzo(g,h,i) perilene | 55 |
| 193-39-5 | Indenopirene | 70 |
| 120-12-7 | Antracene | 45 |
| 206-44-0 | Fluorantene | 110 |
| 91-20-3 | Naftalene | 35 |
| | Pesticidi | |
| 309-00-2 | Aldrin | 0,2 |
| 319-84-6 | Alfa esaclorocicloesano | 0,2 |

| | | |
|---|-------------------------------------|-----|
| 319-85-7 | Beta esaclorocicloesano | 0,2 |
| 58-89-9 | Gamma esaclorocicloesano lindano | 0,2 |
| | DDT (3) | 1 |
| | DDD (3) | 0,8 |
| | DDE (3) | 1,8 |
| 60-57-1 | Dieldrin | 0,2 |
| 118-74-1 | Esaclorobenzene | 0,4 |
| <p>Note alla tabella 2/A</p> <p>(1) Standard di qualità ambientale espresso come valore medio annuo (Squa-MA).</p> <p>(2) In considerazione della complessità della matrice sedimento è ammesso, ai fini della classificazione del buono stato chimico uno scostamento pari al 20% del valore riportato in tabella</p> <p>(3) DDE, DDD, DDT: lo standard è riferito alla somma degli isomeri 2,4 e 4,4 di ciascuna sostanza.</p> | | |

I valori espressi in questa tabella sono mutuati da leggi antecedenti, come D.Lgs 152/06: è interessante confrontare i valori della normativa sopra citata e i Livelli Chimici di Riferimento (LCR)¹³ per i metalli in suoli con destinazione d'uso differente rispetto a quello dei sedimenti marini. Nella prima colonna vengono proposti valori riferiti a normative e organismi internazionali; a partire dalla seconda colonna vi sono le varie Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) espresse dal D.Lgs 152/06: (a) per i suoli ad uso residenziale/verde pubblico, (b) ad uso industriale, (c) standard di qualità dei sedimenti di ambienti di acque marino costiere. Tutti i valori sono espressi in mg/Kg.

¹³ *Livelli Chimici di Riferimento (LCR): concentrazione di riferimento per ogni singolo contaminante, non sito specifica. I livelli chimici di riferimento non sono direttamente correlabili con l'ecotossicità del sedimento, per la cui determinazione sono necessarie indagini ecotossicologiche sito specifiche. Da Calace e Guerra, (2009)*

| | LCR (APAT) | LCR (APAT) Senza outlier | D.Lgs 152/06 ^(a) Uso residenziale/verde pubblico | D.Lgs 152/06 ^(b) Uso industriale | D.Lgs 152/06 ^(c) Sedimenti di ambienti acquatici |
|------------|---------------|--------------------------------|---|---|---|
| Arsenico | 14 | 13 | 20 | 50 | 12 |
| Cadmio | 0,55 | 0,5 | 2 | 15 | 0,3 |
| Cromo Tot | 100 | 47 | 150 | 800 | 50 |
| Cromo (VI) | 5 | | | | 5 |
| Mercurio | 0,5 | 0,4 | 1 | 5 | 0,3 |
| Nichel | 73 | 56 | 120 | 500 | 30 |
| Piombo | 41 | 41 | 100 | 1000 | 30 |

Tabella 12: Schematizzazione dei limiti di legge italiani

Si può notare come la norma preveda per il sedimento in ambiente acquatico un valore più restrittivo. Questo fa riflettere su come gli ambienti umidi siano ambienti fragili, in cui anche piccole alterazioni delle condizioni chimico-fisiche possono costituire un danno per l'equilibrio ambientale.

La laguna di Nador è stata in passato oggetto di studio, a causa degli allarmanti valori di inquinamento, in particolare da metalli pesanti e sostanza organica sospesa. In questi studi (Guelorget et al., 1987; Dakki et al., 2003; Bluoundi et al., 2008) si fa scarso riferimento al quadro normativo del Marocco. Non esistono norme che parlino specificatamente della qualità dei sedimenti in ambienti acquatici, ma vi è un quadro legislativo importante per il trattamento e la gestione delle acque di dominio pubblico, si tratta della *legge n°10-95 sur l'eau et de ses textes d'application; Gestion du domaine public hydraulique*. Non vi sono definizioni specifiche sulla qualità dei sedimenti ma solo sulla loro movimentazione in caso siano da intralcio per opere idriche. In generale però le normative del Marocco fanno riferimento alle norme europee e per la trattazione di questa tesi si farà quindi il paragone con le norme italiane ed europee precedentemente descritte.

APPENDICE IV

Le conchiglie e il *Phylum* dei Mollusca

Le conchiglie sono la caratteristica più riconoscibile di gran parte dei Mollusca (Mollusca Cuvier, 1797), anche se alcuni di essi con il tempo hanno perso questa caratteristica. I mollusca nel regno animale sono il secondo *phylum* per dimensioni, dopo quello degli artropodi, con circa 130.000 specie tra varietà fossili e viventi.

Gli esemplari più antichi di Mollusca rinvenuti risalgono al Cambriano inferiore (570 milioni di anni fa). Si pensa che l'antenato dei molluschi fosse un animale vermiforme che con il tempo ha sviluppato una copertura a scaglie sul dorso, simile agli attuali Caudofoveati e Solenogastri, che si è col tempo maggiormente sclerotizzata fino a divenire ciò che noi conosciamo oggi come conchiglia. La grande differenza nelle forme, nella grandezza e nei colori delle conchiglie (o la loro totale assenza) sono attualmente tratto distintivo dei Mollusca, utilizzate da esperti e non per l'identificazione primaria delle specie (Vincenti, 2008).

Il *Phylum* dei Mollusca è diviso in sette classi distinte:

- monoplacofori (dotati di una conchiglia dorsale unica),
- poliplacofori (con conchiglia multipla),
- aplacofori (senza conchiglia),
- scafopodi (con conchiglia conica, a forma di dente),
- gasteropodi (con conchiglia a spirale),
- bivalvi o lamellibranchi (con conchiglia a due valve incernierate),
- cefalopodi (con conchiglia ridotta a una lamina, oppure a spirale, o assente).

La conchiglia non è altro che la protezione esterna di numerosi invertebrati, adatta a proteggere le parti molli dell'animale: essa è costituita in prevalenza da carbonato di calcio e, in misura inferiore, da altri sali inorganici, tenuti insieme dalla conchiolina, sostanza organica che forma un reticolo microscopico. Le forme in cui è cristallizzato il carbonato sono essenzialmente aragonite e calcite (D'Angelo e Gargiullo, 1978).

Le conchiglie si formano nello stadio embrionale dell'esemplare, dove cellule della zona dorsale si differenziano in cellule ghiandolari che producono il primo germe della conchiglia. Successivamente, l'accrescimento della conchiglia stessa è prodotto dal mantello (o pallio), che è simile ad un ripiegamento o duplicatura cutanea che ricopre in maniera più o meno estesa il corpo del mollusco.

La conchiglia adulta, fatta eccezione per quella dei Cefalopodi, si presenta composta di tre strati: quello più esterno (periostraco) è una membrana più o meno sottile di sostanza organica costituita in prevalenza da conchiolina; il mediano (ostraco) è formato da prismi di carbonato di calcio in fase calcitica; quello più interno (ipostraco) costituito da carbonato di calcio in fase aragonitica, detto anche madreperlaceo, è responsabile della formazione della madreperla e delle perle: le lamelle di aragonite, grazie alla loro disposizione danno luogo alle tipiche iridescenze della madreperla.

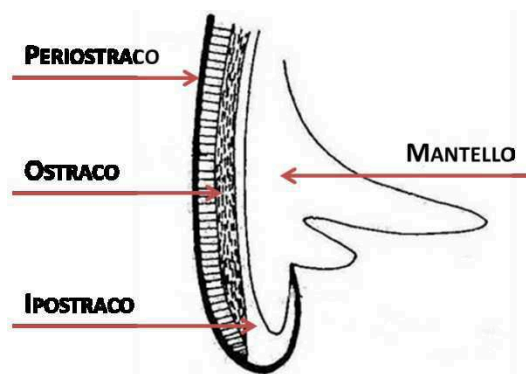


Figura 145 Schema di una sezione di conchiglia in cui si vedono i vari strati che la compongono.

I Molluschi possono essere molto differenti, anche esemplari della stessa specie possono mostrare differenze che dipendono dal microhabitat in cui si trovano (salinità, abbondanza di nutrimento, qualità del sedimento) ma si può comunque schematizzare i tratti più comuni, dividendo il corpo in quattro parti:

- Testa o capo: dove si trova l'apertura boccale, i centri nervoso-cerebrali e alcuni organi di senso
- Tronco: in cui si trovano i visceri e la maggioranza degli organi e apparati del mollusco
- Piede: muscolo che ha forme e funzioni varie anche a seconda della specie (ad esempio nei Bivalvi secerne il bisso, mentre nei Gasteropodi secerne l'opercolo, oppure può avere funzione di organo di locomozione o per agganciarsi al substrato)
- Mantello e conchiglia: il mantello delimita la cavità palleale e secerne la conchiglia che fa da protezione al corpo del mollusco.

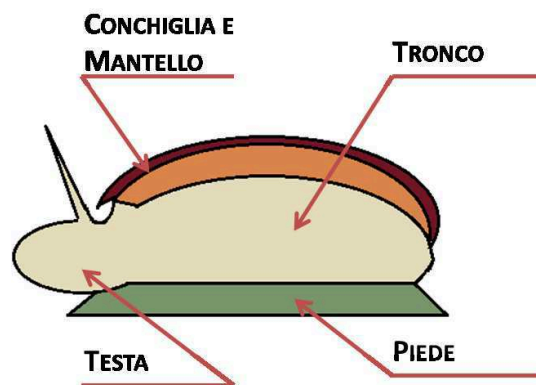


Figura 146 Schema delle parti che compongono generalmente il corpo di un Mollusco

Come detto prima le classi dei Molluschi sono diverse. Al fine di questa ricerca tratteremo delle due classi più diffuse nella laguna di Nador, Bivalvi (o Lamellibranchi) e Gasteropodi.

I Bivalvi (o Lamellibranchi)

I Bivalvi sono una classe di molluschi molto conosciuta, poiché molte delle specie sono commercializzate a fini alimentari e alcune sono molto famose poiché producono le ambite e preziose perle. In alcune tassonomie essi vengono definiti anche Acefali, poiché è impossibile riconoscere la testa dal corpo e il mollusco mostra una struttura scarsamente differenziata. Il termine Lamellibranchi si riferisce al fatto che questi molluschi hanno un apparato respiratorio formato da lamelle branchiali; l'altro termine invece, Bivalvi, deriva dal fatto che possiedono una conchiglia formata da due valve, unite tra loro da una cerniera. Quest'ultima è composta da denti e fossette che hanno la funzione di allineare le valve e fungono da perno all'apertura e alla chiusura della conchiglia. Le cerniere sono inoltre importanti da un punto di vista tassonomico: per il loro assetto, forma e posizione dei denti.

Le valve sono tenute aperte dall'azione di un potente legamento elastico, al quale si oppongono uno o due potenti muscoli adduttori. Molluschi con un unico muscolo adduttore sono detti monomiari, mentre molluschi con due muscoli adduttori sono chiamati dimiari, quest'ultimi sono detti isomiari se i muscoli hanno dimensioni uguali o anisomiari se hanno dimensioni differenti. Le valve si sviluppano dall'umbone (zona con i resti della conchiglia embrionale, si riconosce perché in genere è il punto più acuto della valva), l'accrescimento è evidenziato da linee concentriche, parallele ai margini liberi delle valve (Cattaneo, 2010).

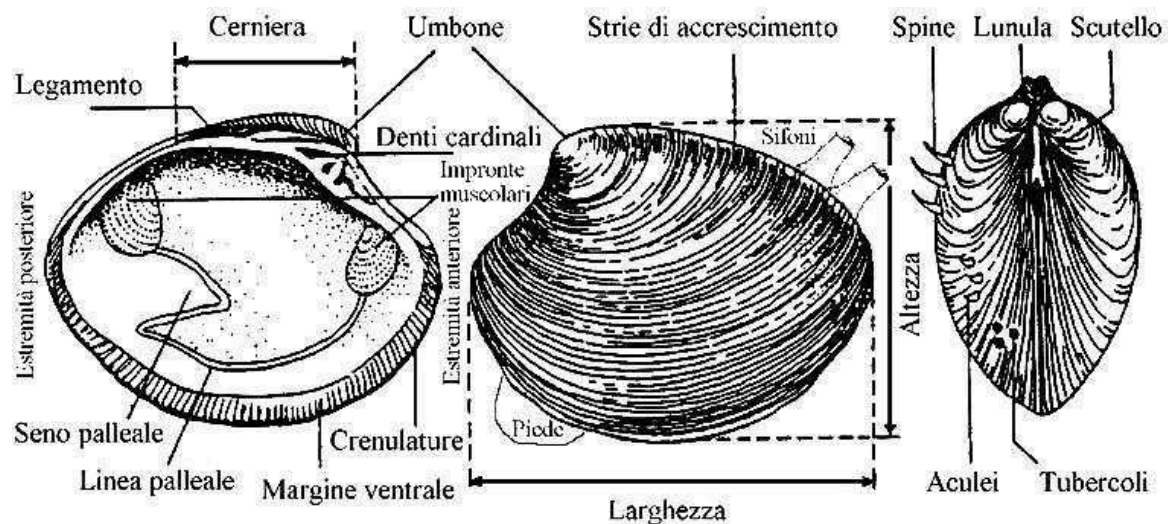


Figura 147 Le varie parti che compongono un Bivalvi (da D'Angelo e Gargiullo, 1978)

I Bivalvi vivono solo in ambiente acquatico, la maggioranza in habitat marino costieri, anche se ci sono alcune specie abissali, capaci di vivere fino a 5000 m di profondità. Alcune specie vivono sopra la superficie: alcune si ancorano al substrato grazie al bisso, una sorta di filamento; altre si saldano al substrato fondendosi ad esso con una delle due valve; altre invece sono capaci di muoversi nuotando a propulsione, con un movimento veloce delle valve. Molte specie, sia di acqua marina che dolce, vivono invece affossate nella sabbia, in modo da rimanere al riparo dai predatori e nutrendosi di detriti e particelle sospese in acqua: si tratta degli "scavatori" che scendono in profondità nella sabbia (10-15cm), alcuni riescono addirittura a scavarsi dei canali nel legno (detti anche trivellatori), e vivono tutta la vita nei tunnel che si sono preparati, facendo fuoriuscire dal suolo solo i sifoni, prolungamenti dell'animale che servono da collegamento verso il mondo esterno. I sifoni rassomigliano a lunghe proboscidi: uno aspira l'acqua, mentre un altro la espelle dopo averla filtrata e raccolto il cibo e l'ossigeno utili alla sopravvivenza.

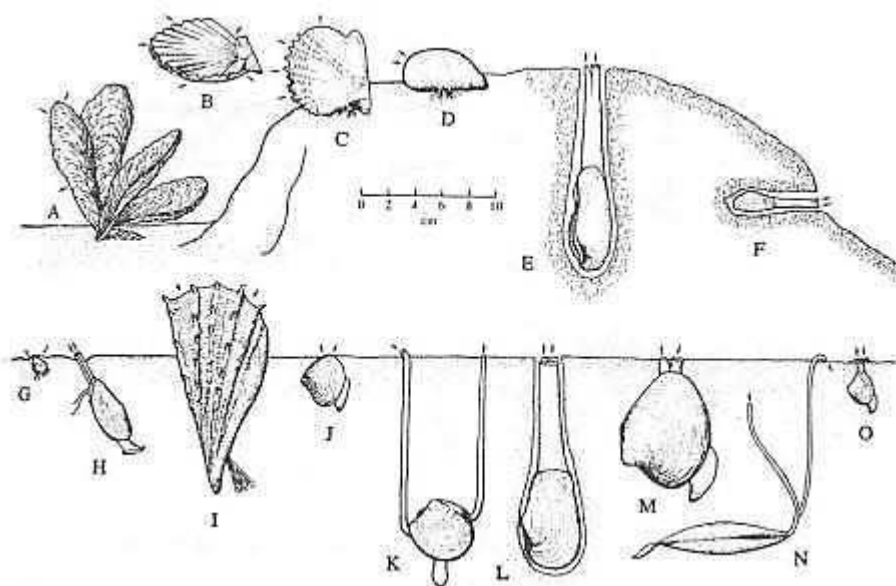


Figura 148 La distribuzione lungo la superficie di alcuni Bivalvi attuali: A-D= Bivalvi che vivono sopra la superficie; E/O= Bivalvi che vivono all'interno di substrati rocciosi o di sedimenti (da <http://www.geo.arizona.edu>)

Il limite più grande alla diffusione dei Bivalvi è la capacità di adattarsi a variazione della salinità; queste specie vengono dette stenoaline. Esistono comunque alcune specie, dette eurialine, che invece si tollerano bene anche ampie variazioni della salinità e che quindi sono in grado di colonizzare anche zone di transizione, come le foci dei fiumi, le lagune costiere o i mari poco salati (Vincenti, 2008).

I Gasteropodi

Questo è la classe di molluschi più numerosa, circa 100 000 attualmente esistenti nel mondo, sia terrestri che marini: a detta di alcuni questa straordinaria presenza è conseguenza di una grande adattabilità di questa classe, grazie al loro successo evolutivo rispetto ai Monoplacofori da cui probabilmente provengono. In alcune tassonomie vengono detti anche Univalvi, poiché possiedono solo una conchiglia. A differenza dei Bivalvi abbiamo una struttura con caratteri ben delineati. Il termine Gasteropoda ben descrive l'aspetto di questi animali: dal greco γαστήρ (stomaco) e ποδός (piede); infatti essi appoggiano il proprio corpo su un piede che serve loro per spostarsi strisciando sul terreno. Il corpo è caratteristicamente asimmetrico, con il capo ben differenziato dal corpo e dal piede. La testa e il piede sono le parti del corpo esterne, che all'occorrenza possono essere retratte nella conchiglia; la parte interna del corpo comprende la cavità palleale e il sacco viscerale. La testa ha da due a quattro strutture tentacolari al cui apice sono posizionati gli occhi; ventralmente a queste è posizionata la bocca provvista di radula. Il piede può avere funzione locomotoria o adesiva a seconda delle abitudini specie specifiche; in alcuni gasteropodi il piede è provvisto di un opercolo

calcareo o corneo che ha la funzione di chiudere l'apertura della conchiglia. La cavità palleale contiene le branchie e comunica con l'ambiente esterno tramite un'apertura posta dorsalmente alla testa (Cattaneo, 2010).

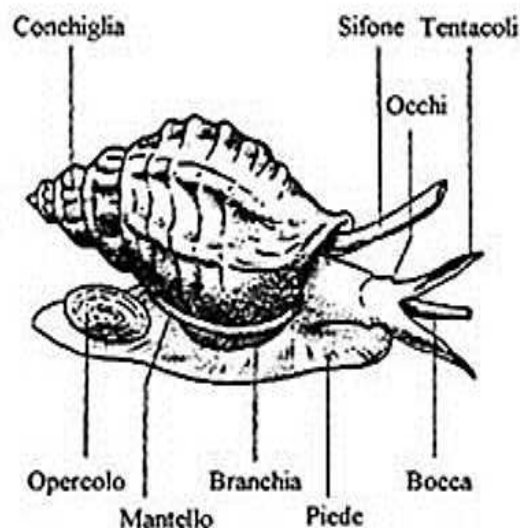


Figura 149 Struttura del corpo di un Gasteropode (da D'Angelo e Gargiullo, 1978)

Le loro conchiglie possono assumere varie forme: conica con la base molto allargata (ad esempio la Patella), oppure elicoidale, cioè una conchiglia avvolta a spirale attorno ad un asse. Quest'ultima forma è la più caratteristica dei gasteropodi, molto ricercata dai collezionisti di conchiglie. L'avvolgimento avviene man mano che l'animale cresce, formando un numero variabile di giri, detti *spira*, separati da un solco più o meno profondo detto *sutura*. La conchiglia è molto articolata, e può avere più o meno accentuate le varie sezioni.

Alcune specie in determinati periodi dell'anno chiudono l'apertura al fondo della conchiglia, ostruendola con un ispessimento cuticolare corneo o calcareo chiamato opercolo.

I gasteropodi vengono suddivisi in tre sottobranche:

- Prosobranchia, gasteropodi dotati di branchie situate nella parte anteriore del corpo;
- Opisthobranchia, gasteropodi dotati di branchie situate nella parte posteriore del corpo;
- Pulmonata, gasteropodi dotati di polmoni.

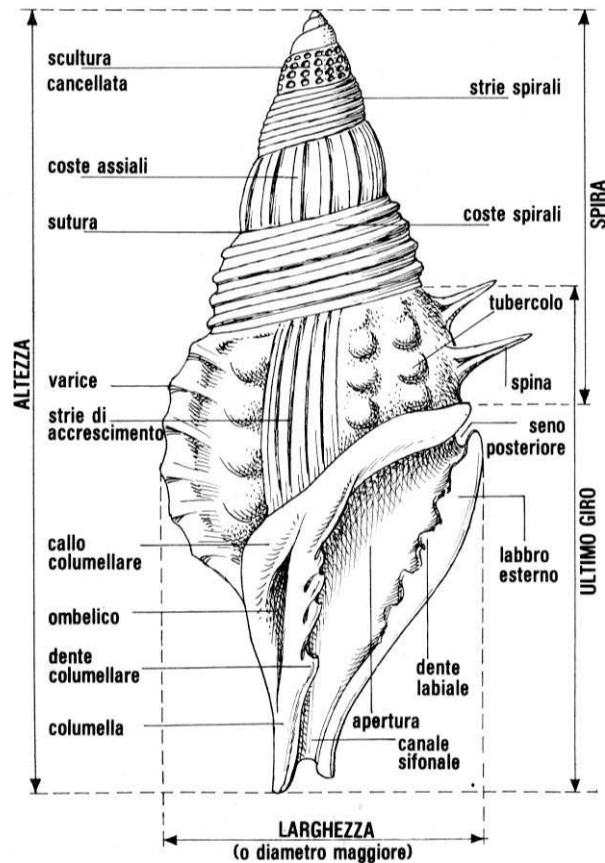


Figura 150 La sezione di una conchiglia di Gasteropode (da D'Angelo e Gargiullo, 1978)

I Prosobranchia sono la maggioranza dei Gasteropodi, dotati di conchiglia esterna. Sono dotati di conchiglia spiralata e mostrano una torsione del sacco dei visceri con spostamento della cavità palleale in avanti. Quasi tutti i prosobranchi possiedono radula, ovvero una struttura retrattile che serve all'animale a "raschiare" il terreno allo scopo di trovare il cibo: la sua morfologia può cambiare, da 2 a molti denti per ogni fila, a seconda del tipo di alimentazione.

I Prosobranchia vengono ulteriormente suddivisi in tre Ordini:

- **Archeogasteropodi**: hanno caratteri anatomici primitivi, come alcuni organi doppi; hanno sesso separato ma i maschi non sviluppano l'organo copulatore; erbivori e con una radula adatta all'alimentazione vegetale
- **Mesogasteropodi**: con conchiglia non madreperlacea ma bensì porcellanacea, quasi sempre spiralata; possono essere sia erbivori, carnivori che parassiti.
- **Neogasteropodi**: principalmente forme marine e carnivore; i sessi sono sempre separati; sono caratterizzati da un unico ctenidio (organo di respirazione) nella cavità del mantello, osfradio (organo di senso) grande e radula provvista al massimo di tre dentelli.

Gli Opisthobranchia sono Gasteropodi che possiedono un'unica branchia (a volte nessuna) posta dietro al cuore; sono ermafroditi e la fecondazione avviene anche

simultaneamente tra individui diversi; sono animali carnivori o parassiti; vivono in acque salate o salmastre; molte sono sprovviste di conchiglia, altre ne hanno una sottilissima interna, altre ancora, le meno numerose, mostrano una conchiglia esterna.

I Pulmonata sono una sottoclasse a cui appartengono quasi solo specie terrestri, che respirano attraverso una cavità posta sotto la cavità del mantello e che funge da organo per la respirazione. Gli Basommatophora sono un ordine di Pulmonati che vivono in ambienti acquatici.